

**UNIVERSIDADE PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGONÔMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**

**INFLUÊNCIA DO REDIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE  
PRESSÃO NA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM  
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL**

**RENATO DE CASTRO SANTANA**

**Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus  
de Botucatu, para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia – Área de  
concentração em Irrigação e Drenagem.**

**BOTUCATU – SP  
MARÇO – 2000**

**UNIVERSIDADE PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÔNOMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**

**INFLUÊNCIA DO REDIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE  
PRECISÃO NA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM  
SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ CENTRAL**

**RENATO DE CASTRO SANTANA**

*Orientador: Antônio Evaldo Klar*

**Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agrônômicas da UNESP – Campus  
de Botucatu, para obtenção do título de  
Mestre em Agronomia – Área de  
concentração em Irrigação e Drenagem.**

**BOTUCATU – SP  
MARÇO – 2000**

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	ix
SUMMARY.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Descrição do sistema de irrigação pivô central.....	4
2.2 Fatores que afetam o desempenho do sistema de irrigação.....	5
2.2.1 Influência da topografia.....	5
2.2.2 Influência da pressão de operação.....	6
2.2.3 Influência da velocidade de operação.....	7
2.2.4 Influência da vazão do sistema.....	7
2.2.5 Influência de elementos climáticos.....	8
2.3 Avaliação do sistema de irrigação.....	10
2.3.1 Eficiência do sistema de bombeamento.....	10
2.3.2 Sistema de distribuição de água.....	11
2.3.2.1 Lâmina média aplicada.....	11
2.3.2.2 Uniformidade de distribuição.....	11
2.3.2.3 Qualidade de irrigação.....	15
2.4 Modelos matemáticos de distribuição de água.....	18
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Local e clima.....	21
3.2 Características do equipamento de irrigação.....	22
3.2.1 Pivô central.....	22
3.2.2 Conjunto motobomba.....	22
3.3 Coleta de dados para avaliação do sistema.....	23
3.3.1 Levantamento topográfico.....	23
3.3.2 Características eletromecânicas.....	23
3.3.3 Determinação da pressão.....	23

	Página
3.3.4 Distribuição da água na superfície do solo.....	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Avaliação do conjunto motobomba.....	27
4.1.1 Vazão.....	27
4.1.2 Altura manométrica e pressão no centro do pivô.....	28
4.1.3 Altura de colocação da bomba centrífuga – NPSH.....	30
4.2 Características operacionais do equipamento.....	30
4.2.1 Tempo por volta.....	30
4.2.2 Lâmina média aplicada.....	32
4.3 Avaliação da qualidade da irrigação.....	33
4.3.1 Uniformidade de distribuição.....	33
4.3.2 Perfil de distribuição de água.....	34
5 CONCLUSÕES.....	40
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41



**LISTA DE FIGURAS**

	Página
Figura 1 – Detalhe da instalação de manômetro durante os testes, no pivô 1.....	25
Figura 2 – Pivô 1 em funcionamento durante o teste de precipitação.....	25
Figura 3 – Perfil de distribuição de água do pivô 1, na posição de aclave, com reguladores e difusores usados.....	36
Figura 4 – Perfil de distribuição de água do pivô 2, na posição de aclave, com reguladores e difusores usados.....	37
Figura 5 – Perfil de distribuição de água do pivô 1, na posição de aclave, com reguladores e difusores novos.....	38
Figura 6 – Perfil de distribuição de água do pivô 2, na posição de aclave, com reguladores e difusores novos.....	39

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Dados da avaliação de pressão (mca) no pivô 1, comparando os dados de projeto com os dados iniciais (difusores usados) e após a troca.....	28
Tabela 2 - Dados da avaliação de pressão (mca) no pivô 2, comparando os dados de projeto com os dados iniciais (difusores usados) e após a troca.....	29
Tabela 3 - Valores da velocidade da última torre medidas no campo e de projeto nas diferentes regulagens do relê percentual para o pivô 1.....	31
Tabela 4 - Valores da velocidade da última torre medidas no campo e de projeto nas diferentes regulagens do relê percentual para o pivô 2.....	31
Tabela 5 – Valores de lâminas médias encontradas nos pivôs 1 e 2.....	32
Tabela 6 - Desvios entre as lâminas médias do projeto , antes e após a troca dos reguladores de pressão e difusores de pressão nos pivôs 1 e 2.....	32
Tabela 7 - Valores do CUC obtidos na posição de maior aclave dos dois pivôs, com relê regulado a 100 %.....	33

## RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as características de desempenho de dois equipamentos de irrigação do tipo pivô central, com áreas idênticas e condições hidráulicas diferenciadas quantificando o desgaste dos reguladores de pressão e difusores. A avaliação do desempenho do sistema foi efetuada com base no coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), calculado pela metodologia de ensaios proposta pela ABTN/ASAE/CAMPO. Os pivôs centrais foram ensaiados na velocidade de 100% da regulagem do percentímetro na posição de maior aclave das duas áreas, com os pluviômetros espaçados de cinco em cinco metros e colocados a 30 cm de altura em relação ao solo. Os resultados obtidos para os coeficientes de uniformidade demonstraram que após a troca dos kits, os valores de CUC aumentaram em 24,22% e 34,76% para as distintas situações. Verificou-se que a lâmina aplicada com os kits usados foi inferior ao kit novo 9,2 % e 25,06%, para os pivôs 1 e 2, respectivamente.



**Palavras-chave:** pivô central, CUC, regulador de pressão, redimensionamento hidráulico.

**AVALUATION IRRIGATION SYSTEM CENTER PIVOT WITH PRESSURE  
REGULATION AND SPRAYS, OLD AND NEW**

## SUMMARY

The objectives of this work were to evaluate the characteristics of two center pivot irrigation system equipment with the same area and different hydraulic conditions, with new and used pressure regulators. It was compared and quantified the equipment consumption before and after acquisition of the new pressure regulators. The sprays kits. It was changed in the position of the used in the conditions of the irregular functioning. To evaluate the system performance were used the Christiansen Uniformity coefficient (CUC), calculated by the sprinklers precipitation. The center pivot was tested in 100% of the timer sensor in the higher slope of the two areas, with pluviometric disposed lines spaced five meters apart and 0,30m above soil surface. The values found in the Uniformity showed that after changed the kits, CUC increased in 24,22% e 34,76%. Observed that depths water with used kits, it was lower of the new kits 9,2% and 25,06% for one and two pivots, respectively.

Key-words: pivot center, CUC, regulator pressure, difusor.

## **1 INTRODUÇÃO**

Do ponto de vista técnico, a irrigação é uma atividade que tem por finalidade o suprimento de água às culturas agrícolas. Esse suprimento de água pode ser feito por diferentes métodos de irrigação de acordo com COTRIM et al. (1988). O método de irrigação por aspersão apresenta uma grande variedade de sistemas, desde os mais simples, como tubos perfurados, até os mais complexos como sistemas mecanizados OLITTA (1977).

As peculiaridades que cada sistema de irrigação apresenta, definem diferentes critérios de seleção, pois, em áreas pequenas, justifica-se a irrigação convencional, entretanto, para áreas médias e grandes o emprego deste sistema poderá ser limitado pela demanda de mão-de-obra necessária. Segundo SOARES et al. (1992), os equipamentos de irrigação por aspersão do tipo pivô central viabilizam a irrigação em grandes áreas, merecendo a preferência do produtor rural, desvinculando-os da dependência da mão de obra, cada vez mais escassa no meio rural.

A irrigação por aspersão de uma maneira geral e o sistema de pivô central em particular, apresenta inúmeras vantagens em relação a outros métodos, entre as quais, de

acordo com AZEVEDO (1983), podem ser: (i) dispensa a sistematização da superfície do solo, (ii) permite a aplicação de agroquímicos, principalmente fertilizantes e defensivos agrícolas em qualquer fase de desenvolvimento das culturas, (iii) possibilita a operação em períodos noturnos, (iv) adapta-se a todos os tipos de solo e de culturas, (v) apresenta fácil e rápida implantação do projeto e; (vi) possibilita um fácil controle da quantidade de água aplicada em cada irrigação.

Entretanto, apesar do equipamento ser simples, a grande maioria das propriedades rurais não possuem parâmetros básicos para o correto manejo do sistema. Conforme SILVA & PEREIRA (1994), a procura para aquisição de sistemas pivôs-centrais foi de tal forma que se encontram projetos implantados sem o mínimo critério técnico. Podem ser encontrados equipamentos desativados por falta de água, em função de sistemas de bombeamento mal dimensionados que não fornecem a vazão e a pressão suficientes para um bom desempenho do sistema, ou até mesmo, problemas de cavitação da bomba. Encontra-se também equipamentos que aplicam volumes de água diferentes dos realmente necessários para as culturas, o que leva muitas vezes, a um grande desperdício de água e energia.

O planejamento racional de um sistema de irrigação por aspersão requer, além do conhecimento dos parâmetros climáticos, de solo e de recursos naturais, o conhecimento do desempenho do equipamento para que seja possível a adoção de critérios de manejo de irrigação para torna-la mais eficiente COTRIM et al. (1988).

O desenvolvimento de um manejo racional de irrigação deve ser precedido de um programa de ensaios dos equipamentos em operação. Estes ensaios têm aplicações locais práticas, mais imediatas, relacionadas à calibração dos equipamentos, de forma a aumentar o grau de aproximação entre as lâminas que se deseja aplicar e aquelas realmente aplicadas, a identificação de componentes que devem ser reparados ou substituídos e a

otimização do sistema de bombeamento, reduzindo o consumo de energia COLOMBO et al. (1988).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as características de desempenho de dois equipamentos de irrigação por aspersão, tipo pivô central, operando em condições de campo, bem como demonstrar as variações de uniformidade de distribuição de água antes e após a troca dos difusores e reguladores de pressão do equipamento.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Descrição do sistema de irrigação por pivô central**

Esse sistema de irrigação, segundo MANTOVANI (1989), consiste de uma linha de aspersores ou difusores montados sobre torres com rodas, tendo uma extremidade fixa em uma estrutura central (ponto do pivô) e a outra movendo-se continuamente em torno do ponto do pivô durante a aplicação da água.

Um sistema de pivô central é constituído de vários componentes assim agrupados: sistema adutor, sistema central de comando, sistema de condução de água, sistema estrutural, sistema de movimentação e o de aplicação de água. Dentre esses sistemas, destacam-se o sistema de movimentação e o de aplicação de água, por terem influência direta no volume de água aplicada e na distribuição deste volume na área irrigada. O sistema de movimentação do pivô central é feito a partir do sistema propulsor de cada torre constituído de um moto redutor que transmite movimento através de um eixo cardã aos redutores tipo rosca sem-fim, nas rodas. A velocidade de rotação das torres define a lâmina a ser aplicada, sendo regulada através de um relê percentual na caixa de controle

central, que comanda a velocidade da última torre. O sistema de aplicação de água de um pivô central é feito por meio de aspersores ou difusores de diferentes tipos e tamanhos, sendo sua quantidade definida pelo tipo do pivô.

Segundo BERNARDO (1989), quanto a distribuição dos aspersores ao longo da linha lateral pode-se classificar os pivôs em três tipos: (i) aspersores de tamanho variável e pressão de serviço alta; (ii) aspersores de tamanho médio e pressão de serviço média e, (iii) difusores com pressão de serviço baixa. O último tipo consome menos energia em relação aos dois primeiros, sendo por isso denominados de pivô de baixa pressão.

## **2.2 Fatores que afetam o desempenho do sistema de irrigação**

### **2.2.1 Influência da topografia**

Avaliando um sistema de irrigação pivô central, em quatro diferentes posições da linha lateral e três velocidades de deslocamento, ZANINI et al. (1993) encontrou que, a maior variação da vazão total foi de 3,67%, quando foram comparadas as posições de aclave com as de declive máximo. TOMAZELA (1991), analisando o desempenho hidráulico de um pivô central operando em condições de topografia variável, concluiu que para as posições de aclave e declive máximos da linha lateral, houve uma variação de 3,7% na vazão total do sistema (187 e 194 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) diferindo do valor adotado em projeto (182 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>). Também REZENDE (1992), em trabalho semelhante aos anteriores, observou que houve 2,34% de variação de vazão total quando foram comparadas as posições em nível e em aclave máximo da linha lateral.

Para JAMES & BLAIR (1984) a maior variação de uniformidade de distribuição ocorreu quando os sistemas de pivô central não possuíam reguladores de pressão, e que

sistemas com difusores e reguladores de pressão mostraram-se pouco influenciados pelas variações topográficas impostas.

### **2.2.2 Influência da pressão de operação**

O uso de difusores, de acordo com LONGLEY et al. (1983), implica em menor altura manométrica total necessária, com conseqüente diminuição no custo de bombeamento. BERNUTH & GILLEY (1984), estimam que nos Estados Unidos, cerca de 90% dos equipamentos instalados em 1984 foram projetados para trabalhar a pressões inferiores a 240 kPa.

Segundo JAMES et al. (1982) e BERNUTH & GILLEY (1983), os difusores de baixa pressão apresentam maior sensibilidade às variações de pressão, especialmente em terrenos declivosos, o que acarreta um custo adicional por necessitarem de dispositivos capazes de uniformizar a pressão ao longo da linha lateral.

Para verificação e controle da pressão do sistema pivô central, na prática se empregam manômetros metálicos tipo bourdon (STREETER & WYLIE, 1982). Entretanto, GILL (1984), cita alguns erros usuais de manômetros tipo bourdon, tais como: erro de histerese, angularidade e propagação dos erros.

### **2.2.3 Influência da velocidade de operação**

Analisando as características operacionais de três pivôs centrais COTRIM et al. (1988), concluiu que para equipamento semelhante, estão associadas diferentes velocidades de deslocamento da última torre. Da mesma forma RODRIGUES et al. (1992) analisando o desempenho de um pivô central de baixa pressão, equipado com tubos de



descida, em três velocidades de deslocamento, concluíram que houve diferença entre o tempo medido e o nominal para o giro completo do equipamento, com implicações na determinação da lâmina real aplicada. Esses mesmos autores citam, ainda, que para se fazer um planejamento racional do manejo da irrigação, torna-se imprescindível o conhecimento da lâmina aplicada e que a simples aceitação e utilização dos valores nominais de velocidade de giro do projeto, sem uma prévia verificação por meio de testes de campo, implicam na imprecisão das lâminas aplicadas.

#### **2.2.4 Influência da vazão do sistema**

O equipamento pivô central trabalha como uma linha hidráulica com múltiplas saídas, apresentando uma diminuição do fluxo de água ao longo da tubulação. Para que o equipamento como um todo aplique a mesma lâmina de água, a vazão de cada emissor aumenta a partir do ponto do pivô em direção à sua extremidade final (ROLLAND, 1982), proporcional ao anel de solo abrangido pelos emissores

Para determinação da vazão em pivô central de acordo com vários autores, pode ser a mesma utilizada para determinação de vazão em condutos forçados. LINSLEY & FRAZINI (1978), afirmam que cada método tem suas próprias características e deve-se preferir o que melhor se adapte as condições de cada caso. RUSSEL (1942) recomenda a utilização de tubo de pitot para maior precisão fazendo determinações separadas da velocidade média a cada nova taxa de fluxo. SPINK, 1967 e STREETER & WYLIE, 1982, confirmam que o tubo de pitot é um dos métodos mais eficiente para medição de vazão em tubulações, pois mede a velocidade num ponto do conduto, recomendam que para se obter medidas confiáveis o tubo de pitot deve ser instalado a uma distância de 50 vezes ou mais diâmetros a partir de curvas, registros ou quaisquer outras singularidades.

### 2.2.5 Influência dos elementos climáticos

Vários autores citam que os principais elementos climáticos que influenciam no uso da irrigação por aspersão são o vento, a umidade relativa e a temperatura. O vento influencia a uniformidade de distribuição dos difusores e, juntamente com a temperatura e umidade relativa do ar, favorece a perda de água por evaporação (BERNARDO, 1989; FROST, 1963; SOLOMON, 1979).

HEERMANN & HEIN (1968), estudando o efeito do vento na uniformidade de distribuição de água em pivô central, concluíram que este não foi afetado de forma significativa pelo vento, uma vez que a uniformidade permaneceu acima de 80% mesmo quando foram simuladas velocidades do vento da ordem de  $9 \text{ m.s}^{-1}$ .

Devido ao pequeno tamanho de gotas, de acordo com SILVA (1989), as aplicações de água por difusores de baixa pressão, normalmente, sofrem distorções causadas pelo vento, como também estão sujeitas às perdas que ocorrem durante a trajetória dessas gotas entre o seu ponto de formação e a superfície do solo e as plantas. Essas perdas, geralmente são separadas em perdas por evaporação e perdas por arrastamento ou deriva causada pelo vento. KELLER (1984), cita que em condições de baixa demanda evaporativa as perdas por evaporação e deriva estão entre 5% e 10% da lâmina aplicada, chegando a valores entre 30 e 40%, sob condições de alta demanda evaporativa.

Em estudos para analisar a uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por pivô central, BRIDI (1984) concluiu que, nos quatro pivôs estudados, o coeficiente de uniformidade foi mais sensível à variação do vento, tendendo a diminuir com o aumento de velocidade. De acordo com LOPES (1975), altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar diminuem a eficiência em potencial do sistema de irrigação, devido

ao aumento das perdas por evaporação. Através da coleta de água em pluviômetros, CHRISTIANSEN (1942), estimou as perdas por evaporação na irrigação por aspersão e concluiu que tais perdas estiveram entre 10 e 42%, para os testes realizados à tarde, e próximos de 4% , para aqueles conduzidos pela manhã. Mesmo não tendo realizado estudos para diferentes condições de clima, cita que as perdas são mais elevadas em dias com ventos fortes, quentes e secos.

COLOMBO et al. (1988), estudando a influência da evaporação sobre os valores das lâminas coletadas, obtidas em ensaios noturnos e diurnos realizados em dois pivôs distintos, ambos de baixa pressão e dotados de difusores, concluíram que são pequenas as diferenças entre as lâminas aplicadas pelo equipamento nos dois períodos, indicando que as perdas por evaporação são inferiores a 2%, para as lâminas aplicadas entre 7 e 20 mm por revolução.

## **2.3 Avaliação do sistema de irrigação**

### **2.3.1 Eficiência do sistema de bombeamento**

As bombas centrífugas são as mais utilizadas nos sistemas de irrigação. Com a vazão e altura manométrica do sistema pode-se selecionar a bomba que forneça o maior rendimento, utilizando-se a curva característica. Como a altura manométrica depende das perdas de carga nas tubulações a escolha do diâmetro dos tubos, principalmente do sistema adutor, é de grande importância.

SOARES et al. (1992) afirmam que por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural, usualmente irriga em excesso, temendo a ocorrência de déficit hídrico, que possa comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência o desperdício de energia gasta em um bombeamento desnecessário de água. Eles citam que o desperdício de energia pode ocorrer por causa do próprio equipamento de irrigação. A eficiência energética desses equipamentos pode ser aumentada adotando-se medidas como a utilização da vazão ideal, a usinagem de rotores e a substituição de tubulações e motores. Pode-se ainda evitar o desperdício de água diminuindo-se as perdas que ocorrem durante a utilização do equipamento de irrigação, como as perdas por evaporação, deriva pelo vento, percolação e escoamento superficial.

Em estudos realizados para a avaliação de 11 pivôs concluíram que em dois pivôs avaliados, a vazão medida foi próxima da ideal, com diferença menor que 5%, que quatro pivôs apresentaram essa diferença entre 5 e 20% e cinco pivôs apresentaram essa mesma diferença maior que 20%. O rendimento médio das bombas foi 68% e em, 36% dos casos observou-se um rendimento inferior a 60%. Em dez dos onze testes não houve problema de altura de colocação das bombas e os motores elétricos utilizados no acionamento das bombas apresentaram, em média, potência 12% superior a necessária.

### **2.3.2 Sistema de distribuição de água**

O planejamento racional de um sistema de irrigação, exige o conhecimento da lâmina (ou volume) aplicado bem como a distribuição da água pelo equipamento de irrigação e o melhor meio para se obter esses dados é determiná-los nas condições normais de funcionamento (OLITTA, 1977).

### **2.3.2.1 Lâmina média aplicada**

A lâmina média aplicada depende da vazão do sistema, da performance do sistema de movimentação das torres do pivô central, ou seja do tempo necessário para aplicar a lâmina desejada e da área irrigada.

Em trabalho realizado por GUERRA (1988), avaliando quatro pivôs centrais encontrou valores de lâmina média aplicada, em dois dos equipamentos, que estariam aplicando lâminas 13 % a menos e para os demais 16 % a maior da lâmina necessária do projeto, que era de 8,89 mm.

### **2.3.2.2 Uniformidade de distribuição**

A aplicação de água por um sistema de irrigação, de acordo com PERI et al. (1979) e WALKER (1979), é naturalmente desuniforme e para alguns métodos, alta uniformidade somente serão obtidas com o acréscimo de investimento ou elevação nos custos de operação.

Segundo JENSEN et al. (1967), quando o perfil de distribuição de um sistema é conhecido, ele pode ser utilizado para avaliar a adequação de um equipamento de irrigação ou fornecer um valor numérico para ajustar a duração da irrigação, a fim de obter-se a lâmina desejada. De modo a garantir que toda área receba uma irrigação adequada, deve-se dividir lâmina média necessária pelo coeficiente de uniformidade.

RING & HEERMANN (1978), afirmam que é necessário determinar o desempenho de um sistema de irrigação para poder avaliar a uniformidade de distribuição da água, que é uma característica bastante útil para comparar sistemas. Uma uniformidade deficiente resulta em área super ou subirrigada, de modo que um sistema com baixa uniformidade de

distribuição teria que aplicar mais água para a obtenção do mesmo nível de produção, de tal modo que se dois sistemas distribuem o mesmo volume, maior eficiência no uso da água terá o sistema que melhor distribuirá água na área.

Vários coeficientes de uniformidade tem caracterizado a distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão. CHRISTIANSEN (1942), foi o primeiro pesquisador a estudar a uniformidade de distribuição em aspersão, quantificando-o através de um índice estatístico conhecido como coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), para o qual utilizou o desvio médio como medida de dispersão, expresso por:

$$CUC = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y_n|}{n * y_n} \right] \quad (1)$$

onde: CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen , em %;

$y_i$  - lâmina coletada no pluviômetro  $i$ ;

$y_n$  - lâmina média coletada;

$n$  - número de coletores.

HEERMAN & HEIN (1968), afirmam que uma grande diferença de pressão pode causar redução significativa na uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por aspersão convencionais. Entretanto, no pivô central, a uniformidade da lâmina não é somente função da diferença de pressão, mas também do aumento do diâmetro dos bocais dos aspersores à medida que se afasta em relação ao centro da área irrigada. Os autores propuseram uma modificação na equação de Christiansen, para calcular a uniformidade de distribuição de água em sistemas de pivô central, que pode ser

expressa por:

$$CUC = 100 * \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |y_i - y_p|}{\sum_{i=1}^n S_i * y_i} \right] \quad (2)$$

em que:  $S_i$  - distância do ponto do pivô ao ponto  $i$ , ou numero do coletor;

$y_p$  - lâmina média ponderada.

A lâmina média ponderada pode ser calculada por:

$$y_p = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n y_i * S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \right] \quad (3)$$

Segundo a ABNT (1985), outra forma de analisar a distribuição de água é examinando a uniformidade na porção da área irrigada que recebe menos água pela irrigação.

Conforme DAVIS (1966), o coeficiente de uniformidade de distribuição deve considerar a parte da área coberta pelos aspersores que fornecem as precipitações mais baixas, isto é, deve-se considerar a média dos 25% menores valores da precipitação, em relação a média geral. Esse coeficiente é definido por:

$$CUD = \frac{y_{25}}{y_p} * 100 \quad (4)$$

onde: CUD - coeficiente de uniformidade de distribuição (% );

$y_{25}$  - média ponderada das menores precipitações correspondentes a 25% da área.

Conforme TOOYAMANI et al. (1987), ao analisar sistemas de irrigação pivô central com difusores constatou alta uniformidade com qualquer difusor desde que os bocais sejam espaçados adequadamente.

Vários pesquisadores ao avaliar a uniformidade de distribuição em sistemas pivô central operando a baixa pressão encontraram coeficientes de uniformidade (CUC), acima de 80% e o coeficiente de distribuição (CUD), acima de 75% (COTRIM, 1988; SANTOS, 1988; FURUKAWA, 1991; REZENDE, 1992).

A uniformidade de aplicação em pivô central pode ser melhorada consideravelmente se a redistribuição da água no perfil do solo for considerada, TOOYAMANI et al. (1987). De acordo com HART (1979), existe uma redistribuição horizontal na camada superficial da água aplicada ao solo, ocorrendo um sensível acréscimo da uniformidade da umidade do solo. Segundo PERRENS (1984), a intensidade de redistribuição de água no solo está relacionada com a textura e obteve num período de dois dias um aumento na uniformidade de 60% para 67%, em solos de textura arenosa e de 60% para 73% em um solo do tipo areno-siltoso.

### **2.3.2.3 Qualidade da irrigação**

Segundo PENAFORTE et al. (1993), a uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação por aspersão são importantes parâmetros que expressam a qualidade da irrigação. A determinação desses parâmetros permite verificar se o sistema atende às características de projeto, possibilitando assim, estabelecer correções que possam melhorar o seu desempenho.



Para ISRAELSEN & HANSEN (1962), a eficiência de irrigação indica a adequação com que a lâmina requerida é utilizada, podendo ser medida pela eficiência de aplicação ( $E_a$ ), eficiência de armazenamento ( $E_s$ ) e a perda por percolação profunda ( $P_p$ ).

A eficiência de aplicação é um indicador da água aplicada em excesso ou déficit na área, durante a irrigação, sem dar a idéia da adequação, quanto ao reabastecimento da zona das raízes, expressa por:

$$E_a = \frac{V_s}{V_a} \quad (5)$$

Onde:  $V_s$  - volume armazenado na zona radicular, em mm;

$V_a$  - volume de água aplicado, em mm.

A eficiência de armazenamento é indicador do reabastecimento, sendo expressa por:

$$E_s = \frac{V_s}{V_r} \quad (6)$$

Onde:  $V_s$  – lâmina média armazenada na zona radicular, em mm;

$V_r$  - lâmina de água requerido pelas plantas, em mm.

A água que percola profundamente, ultrapassando a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas, da a idéia das perdas existentes, podendo ser expressa por:

$$P_p = \frac{V_e}{V_a} \quad (7)$$

Onde:  $V_a$  - lâmina de água aplicado, em mm;

$V_e$  - lâmina de água aplicado em excesso, em mm.

Além desses parâmetros anteriormente definidos, SCALOPPI (1984) define a eficiência de distribuição da água ( $E_d$ ), como a relação entre a quantidade de água armazenada na zona efetiva das raízes e a quantidade de água infiltrada ou coletada.

Entretanto HART et al. (1979), concluíram que o desempenho de um sistema de irrigação pode ser plenamente descrito por quatro parâmetros: a fração de água armazenada na zona radicular, a fração do requerimento apropriado, a fração de água distribuída que foi absorvida e a fração de água infiltrada que percola abaixo da lâmina de infiltração média. Estes autores sugeriram limites para os quatro parâmetros por eles definidos, denominados de níveis dos parâmetros da qualidade da irrigação e a partir desses níveis sugerem seis categorias de desempenho da irrigação.

Ainda BERNARDO (1989), define a eficiência, em potencial de aplicação ( $E_{pa}$ ), como a estimativa da porcentagem total da água aplicada pelo sistema que atinge a superfície do solo e ou das plantas. Esta eficiência expressa as perdas por evaporação e pela deriva ocasionada pelo vento, sendo um parâmetro que relaciona a quantidade de água necessária a cultura com a quantidade de água a ser aplicada pelo sistema.

A eficiência, em potencial, de aplicação de um sistema de irrigação, conforme MERRIAN & KELLER (1979), pode ser expressa por:

$$E_{pa} = \frac{L_c}{L} \quad (8)$$

Onde:  $E_{pa}$  - eficiência de aplicação em potencial (%);

$L_c$  - lâmina média coletada;

L - lâmina média aplicada por rotação.

Avaliando sistemas de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão COTRIM (1988), estimou a eficiência em potencial de aplicação, para velocidades médias de vento até  $0,95 \text{ m.s}^{-1}$ , os valores de  $E_{pa}$  encontrados variaram entre 77 e 90%.

Ao estimar a eficiência em potencial de aplicação para um pivô de baixa pressão SANTOS (1988), 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  $2,2 \text{ m.s}^{-1}$ , e a umidade relativa do ar entre 60% e 67%. Os valores de  $E_{pa}$  encontrados variaram para estas condições de 66 a 78%.

#### **2.4 Modelos matemáticos da distribuição da água**

A tendência da pesquisa, segundo LEME (1986), é ajustar aos dados obtidos nos ensaios à campo uma função matemática (ou modelo matemático), e a partir desta função estabelecer os parâmetros que determinam o desempenho do sistema, ou seja estimar o coeficiente de uniformidade e a eficiência de irrigação ( $E_a$ ,  $E_s$  e  $P_p$ ). Este aspecto é reforçado por ELLIOT et al.(1980) e FRIZZONE (1992), que afirmam que uma vez definida a distribuição de água aplicada na área, torna-se possível determinar a eficiência de aplicação, que analisada com outros fatores determina a adequabilidade da irrigação.

Segundo WALKER (1979), dois são os modelos utilizados para descrever a distribuição de água num sistema de irrigação por aspersão: o modelo normal de HART (1961) e o modelo linear de KARMELI (1978).

Segundo SOUZA & RIBEIRO (1984), o modelo normal de Hart apresenta certa

complexidade para a sua utilização e por isso optaram pelo uso do modelo de Karmeli, num estudo para gerar informações para planejamento e avaliação de um sistema de irrigação por aspersão. Segundo esses autores o modelo de Karmeli é um método preciso, de fácil aplicação, capaz de estabelecer um padrão de distribuição no sistema de irrigação por aspersão e também de fornecer outros parâmetros como eficiência e perda.

Ao comparar outros modelos de distribuição estatísticos como o beta, normal e linear, ELLIOT et al. (1980) concluíram que o modelo de distribuição beta ajustou melhor às lâminas de aplicação de água do que os modelos linear e uniforme. Para coeficientes acima de 65%, a distribuição normal forneceu melhor ajuste que o modelo linear e para baixos coeficientes de uniformidade o oposto se verifica. Ainda citam que, para o cálculo dos volumes de água necessários na determinação das eficiências de irrigação, os modelos normal e linear são mais práticos para o uso que o modelo beta.

Conforme KARMELI (1978), para bons valores de uniformidade de distribuição de água tanto o modelo linear quanto o normal, estimaram adequadamente os dados de campo. Para baixos valores de uniformidade de distribuição de água, isto é, para coeficientes de uniformidade de Christiansen menores que 55%, o modelo linear comportou-se melhor em suas estimativas.

Segundo FRIZZONE (1992), para avaliar a adequabilidade da irrigação deve-se utilizar uma distribuição de frequência acumulada, que é construída com as lâminas coletadas durante os ensaios de uniformidade de distribuição e com a fração da área total representada por cada um dos coletores. Os modelos linear de KARMELI (1978) e o normal de HART (1961), utilizam a adimensionalização das lâminas coletadas, relacionando-as com a lâmina média coletada.

HART (1961) e HART & REYNOLDS (1965), concluíram após o estudo de vários testes realizados com aspersores, que o modelo de distribuição de água é definido pela

função de distribuição normal e desde que a média e o desvio padrão dos dados obtidos sejam conhecidos, pode-se determinar os parâmetros relacionados a aplicação de água e a fração da área molhada. Citam ainda que a curva de frequência adimensionalizada para aspersores tem, normalmente, a forma de "S", quando o modelo tende à distribuição normal e se o coeficiente de variação ( $C_v$ ) tem um valor relativamente baixo, a distribuição ocorre em torno da média e a uniformidade é elevada. De outra maneira, quando o coeficiente de variação aumenta o modelo de distribuição é menos uniforme.

Após utilizar dados de distribuição de aspersores, com vários coeficientes de variação, KARMELI (1978) concluiu que com o uso do modelo linear se consegue boas estimativas para a maioria das situações e recomendam o seu uso, quando o coeficiente de variação da distribuição dos dados obtidos em ensaios estiver acima de 0,62.

SOUZA & RIBEIRO (1984), aplicam o modelo linear de Karmeli e apresentam as equações que permitem determinar os parâmetros para avaliar a qualidade da irrigação e o mesmo é feito por WALKER (1979) e LEME (1986), em relação ao modelo normal de Hart.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local e clima**

O estudo foi conduzido na Fazenda Madeira, localizada no município de Silvânia - GO, cujas coordenadas geográficas, aproximadamente, são 16<sup>0</sup>25'46" S , 49<sup>0</sup>39'31" W e altitude de 740 metros. Segundo MORENO (1961) e de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo AW tropical de savana megatérmico, com temperatura média anual variando de 13,8 a 31,2 °C e a umidade relativa média do ar de 77%.

Na fazenda existem dois sistemas de irrigação do tipo pivô central com área idênticas de 46,5 ha, sendo que os pivôs ficam dispostos um mais próximo do ponto de captação e o outro mais distante.

## **3.2 Características do equipamento de irrigação**

### **3.2.1 Pivô central**

Os sistemas de irrigação utilizados neste estudo são do tipo pivô central, de fabricação da empresa VALMATIC. Modelo 4865-PA-VSN/7-1025, operando em baixa pressão, com sete torres e um lance em balanço de 24,50 m, totalizando um comprimento da linha lateral de 384,90 m, com área circular de 46,50 ha, altura livre entre o terreno plano e as torres de 2,70 m, cada torre equipada com motorreductor de 1,5 cv, utilizando difusores e reguladores de pressão com seis anos de uso da marca Seninger. Sendo que os equipamentos são acionados pelo mesmo sistema de bombeamento, sempre em horários diferentes. Na propriedade o pivô que está situado a 540 metros da casa de bomba e denominado de pivô-1, e o que está distante 900 m e denominado de pivô-2, na primeira etapa do trabalho, onde foram determinados os parâmetros para o redimensionamento, e na segunda etapa foram utilizados aspersores e defletores também importados da marca Nelson.

### **3.2.2 Conjunto motobomba**

O sistema de bombeamento é constituído por uma bomba KSB WKL-125/3 acoplado por luva elástica a um motor diesel de 195 Cv, da marca Cummins, modelo 6-CT e o sistema de deslocamento do pivô central é acionado, por energia elétrica fornecida, por um gerador de 20 kVA acoplado ao eixo do motor através de correias e polias.

## **3.3 Coleta de dados para a avaliação do sistema**

### **3.3.1 Levantamento topográfico**

O levantamento planialtimétrico foi feito através do método do nivelamento geométrico nas áreas dos dois pivôs. Após a obtenção das cotas do terreno foram definidas as posições de maior aclave e declive, para ensaio dos dois pivôs, nas etapas primeira e segunda.

### **3.3.2 Características eletro-mecânicas**

A característica eletro-mecânica mais importante do equipamento é a velocidade de rotação, uma vez que existe uma relação entre esta e a lâmina aplicada.

A velocidade de rotação do equipamento foi determinada com relê percentual ajustado em 100%. Para a determinação da velocidade de rotação foi demarcada uma distância de 20 metros na trajetória da última torre e foi medido o tempo para o equipamento percorrer essa distância. Sendo este ensaio realizado apenas na primeira etapa da avaliação.

### **3.3.3 Determinação da pressão**

No conjunto motobomba foram medidas as pressões com registro totalmente fechado (shut-off), para avaliar as condições mecânicas da bomba, comparando-se os dados do projeto inicial, curva característica do fabricante e as condições reais do equipamento. Também foram tomadas as pressões com registro aberto, no centro e na extremidade dos equipamentos, no ponto de maior aclave de cada área distintas, sendo as



medidas feitas com um manômetro tipo bourdon (Figura -1). A medida das pressões, nos pontos anteriormente citados, acrescida da diferença de altura entre as tomadas de pressão, permitiu a obtenção da altura manométrica do sistema de bombeamento. A determinação das diferenças de nível entre a extremidade final do pivô, ponto pivô e saída da bomba permite calcular as perdas de carga entre os pontos. A determinação das diferenças de nível entre os três pontos referidos foi feita através do método do nivelamento geométrico, com a finalidade de determinar e comparar essas variáveis com as fornecidas pelo fabricante.

### **3.4 Distribuição da água na superfície do solo**

Para essa avaliação ajustou-se o relê percentual em 100% para as situações em aclave, nos dois pivôs para a primeira e segunda etapas. Observa-se pela figura-2, uma vista parcial da lateral do pivô-1 em funcionamento.

A metodologia para coleta dos parâmetros que caracterizam a distribuição de água do sistema de irrigação foi baseada na metodologia proposta pelo projeto de normas da ABNT(1985).

Foram instalados duas linhas de coletores distanciadas entre si em 3 (três) graus, com coletores distanciados em 5(cinco) em 5 (cinco) metros, com os volumes de água, coletados após a passagem do pivô central pelo local do teste. Os volumes coletados foram medidos com o auxílio de uma proveta graduada e, posteriormente, convertidos em lâmina de água.

Na primeira etapa o avaliação de uniformidade de distribuição de água dos equipamentos permitiu verificar os pontos críticos ao longo do pivô, possibilitando fazer as mudanças necessárias, corrigindo os pontos irregulares, com intuito de aumentar a

eficiência do equipamento.

A uniformidade de distribuição da água aplicada pelo sistema de irrigação foi determinada utilizando-se o coeficiente de uniformidade de HERMANN & HEIN (1968) (Equação 2).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Avaliação do conjunto motobomba**

#### **4.1.1 Vazão**

Na primeira etapa da avaliação foram realizadas as trocas dos difusores usados da marca Senniger por difusores novos da marca Nelson, nos dois pivôs devido ao desgaste que esses equipamentos usados apresentavam. Primeiramente, os difusores foram dimensionados com as vazões de  $232 \text{ m}^3/\text{h}$  e  $186 \text{ m}^3/\text{h}$  para os pivôs 1 e 2, respectivamente. Após a troca dos difusores novas avaliações dos equipamentos foram feitas, e comprovou-se o subdimensionamento da vazão projetada para a potência do motor instalado. Em uma segunda etapa do ensaio as vazões dos equipamentos foram redimensionadas no pivô-1 de  $232 \text{ m}^3/\text{h}$  para  $234 \text{ m}^3/\text{h}$ . Resultando em um aumento de  $1 \%$ . No pivô-2 a vazão foi redimensionada de  $186,6 \text{ m}^3/\text{h}$  para  $220 \text{ m}^3/\text{h}$ , resultando em um aumento de  $15,37 \%$  da vazão do projeto. HEINEMANN et al (1995) comentam que o volume de água necessário será maior em

sistemas de irrigação por aspersão que possuam valores baixos de uniformidade, e que um incremento de CUC de 14% proporcionou uma economia de vazão aplicada da ordem de 11,6%.

#### 4.1.2 Altura manométrica e pressão no centro do pivô central

Pelas tabelas 1 e 2, verifica-se os valores de pressões observadas nos pivôs 1 e 2, comparando os valores médios de pressões de projeto, com os obtidos com os reguladores e difusores (usados e novos) adquiridos após o redimensionamento, definidos pelas mudanças propostas depois das avaliações iniciais.

**Tabela 1 - Dados da avaliação de pressão (mca) no pivô 1, comparando os dados de projeto com os dados iniciais (difusores usados) e após a troca.**

Pressão (mca)	Com reguladores e difusores usados (m.c.a)	Com reguladores e difusores novos (m.c.a)	Dados do projeto (m.c.a)
Bomba	97,50	97,00	86,01
Centro do pivô	37,50	47,00	42,67
Ponto mais alto do pivô	7,50	20,00	20,00

Comparando os dados do pivô-1, verificou-se um desvio de -11,8% para a bomba entre o os difusores velhos e os valores de projeto e de 11,34% entre os difusores velho e novo. No centro do pivô-1 o desvio observado foi de 9,47% entre os dados de projeto e difusores usados e novos e de 6,5% entre difusores novos e usados. Já no ponto da lateral do pivô o desvio da pressão do projeto em relação ao lido no campo foi de 62,50 %. Um

eficiente funcionamento do conjunto motobomba torna-se necessário para minimizar o requerimento de energia, existindo diversas opções de motobombas diâmetros de rotores para se obter um rendimento maior (GILLEY & SUPALLA, 1983).

**Tabela 2 - Dados da avaliação de pressão (mca) no pivô 2, comparando os dados de projeto com os dados iniciais (difusores usados) e após a troca.**

Pressão (mca)	Com reguladores e difusores usados (m.c.a)	Com reguladores e difusores novos (m.c.a)	Dados do projeto (m.c.a)
Bomba	100	110,00	103,03
Centro do pivô	47,50	52,00	52,57
Ponto mais alto do pivô	12,50	20,00	20,00

Pela análise do pivô-2, verificou-se que a pressão na bomba com os difusores velhos promoveu um desvio de -3,30 % em relação aos dados do projeto, e 6,1 % com os difusores novos. Foi verificado um desvio de 9,09 % entre difusores novos e usados.

No centro do pivô a pressão com os difusores usados desviou 0,97 % do projeto, e 3,78 % dos difusores novos, a variação antes e depois do redimensionamento dos difusores foi de 2,83 %, a pressão na ponta do pivô-2 variou de 37,5% entre os difusores novos e os usados. Portanto, neste caso, para o pivô-2 o equipamento estava operando com uma pressão 37,5 % inferior a necessária, fato ocorrido provavelmente pela deficiente condição que se encontravam a bomba, difusores e reguladores de pressão.

#### **4.1.3 Altura de colocação da bomba centrífuga - NPSH**

O valor do NPSH requerido de 2,82 m.c.a, foi calculado segundo as normas da KSB-Bombas Hidráulicas S.A. No entanto, o NPSH disponível, calculado segundo SILVESTRE (1979), apresentou o valor de 5,42 m.c.a.

O critério de verificação das condições de uma instalação de bombeamento, segundo a maioria dos autores, estabelece que a relação entre o NPSH disponível e o NPSH requerido deve ser maior ou no mínimo igual a 1,15; neste trabalho esta relação apresentou uma relação de 1,92, satisfazendo, com folga, o critério de verificação adotado, indicando que a bomba está satisfatoriamente instalada e não apresenta, mantidas essas condições, problemas de cavitação.

## **4.2 Características operacionais do equipamento**

### **4.2.1 Tempo por volta**

A lâmina aplicada é determinada em função do tempo de revolução do pivô central.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores calculados, a partir das determinações da velocidade de deslocamento da última torre, feitas no campo nas diferentes regulagens do relê percentual.

**Tabela 3 - Valores da velocidade da última torre medidas no campo e de projeto nas diferentes regulagens do relê percentual para o pivô 1 .**

Relê	Percurso	Tempo por volta (h)		Desvios
(%)	(m)	Medida	Projeto	(%)
100	2418,46	8,07	9,02	10,52
75	2418,46	10,81	12,02	10,00
50	2418,46	16,24	18,04	10,00
25	2418,46	32,47	36,08	10,00

**Tabela 4 - Valores da velocidade da última torre medidas no campo e de projeto nas diferentes regulagens do relê percentual para o pivô 2.**

Relê	Percurso	Tempo por volta (h)		Desvios
(%)	(m)	Medida	Projeto	(%)
100	2418,46	8,17	9,02	9,42
75	2418,46	10,91	12,02	9,23
50	2418,46	16,34	18,04	9,42
25	2418,46	32,57	36,08	9,73

Foi observado que nos dois pivôs o tempo necessário para completar uma volta foi sempre inferior a do projeto, resultando em aplicações de lâminas menores do que a lâmina projetada, com os desvios variando de 9,23 a 10,52 %.

#### **4.2.2 Lâmina média aplicada**



Essa variável depende diretamente da vazão do pivô, do tempo por volta, da área irrigada e da uniformidade de distribuição do equipamento.

**Tabela 5 – Valores de lâminas médias encontradas nos pivôs 1 e 2**

	Lâmina Media (mm)		
	Projeto	Difusor usado	Difusor novo
PIVÔ 1	4,51	3,94	4,34
PIVÔ 2	3,61	2,96	3,95

Pela tabela 5 verifica-se as variações encontradas para as lâminas médias dos pivôs 1 e 2, antes (difusores usados) e após a troca (difusores novos) em relação a lâmina de projeto.

**Tabela 6 - Desvios entre as lâminas médias do projeto , antes e após a troca dos reguladores de pressão e difusores de pressão nos pivôs 1 e 2.**

	Projeto Difusor usado	Projeto Difusor novo	Difusor usado x novo
Pivô 1	-12,64 %	-3,77 %	9,20 %
Pivô 2	-18,00 %	9,42 %	25,06 %

Observa-se pela tabela 6, para o pivô-1, que os desvios das lâminas entre projeto e difusores usado e novo foram de  $-12,64\%$  e  $-3,77\%$ , respectivamente. No entanto, comparando os difusores novos e usados verificou-se uma diferença de  $9,20\%$ . Com relação ao pivô-2, foi observado um desvio de  $-18,00\%$  e  $9,42\%$  entre projeto e difusores usados e novos.

Comparando os difusores usados e novos observa-se que o desgaste do equipamento reduziu a lâmina aplicada em  $25,06\%$ .

Portanto, mesmo no pivô-1 onde não ocorreu aumento significativo de vazão, o desgaste dos equipamentos resultou em redução da lâmina aplicada e em casos onde os

equipamentos estão com vazão subdimensionada, os reguladores e aspersores desgastados podem ser bem mais irregulares, como ocorrido com o pivô 2.

Em ensaios realizados em sete pivôs centrais SAAD et al. (1987), encontraram desvios entre a lâmina média aplicada real e a lâmina de projeto variando entre 5 e 15%, demonstrando que os resultados encontrados nesse trabalho no pivô-1 foram inferiores ao menor desvio e no pivô 2 superior ao encontrado pelos autores.

### 4.3 Avaliação da qualidade da irrigação

#### 4.3.1 Uniformidade de distribuição

Na tabela 7 verifica-se os valores do coeficiente de uniformidade (CUC) obtidos na avaliação dos dois pivôs centrais antes e após a troca dos reguladores de pressão e difusores com relê percentual ajustado em 100 %.

**Tabela 7 - Valores do CUC obtidos na posição de maior aclave dos dois pivôs, com relê regulado a 100 %.**

	Difusor Usado	Difusor Novo	Desvios
Pivô 1	58,42 %	89,49%	34,76%
Pivô 2	66,50%	87,76%	24,22%

Os resultados revelaram um maior incremento no pivô-1 com a substituição dos difusores usados pelos novos, com CUC de 89,49 % e desvio de 34,76%. Nos dois equipamentos houve um ganho de uniformidade significativo, após o redimensionamento e

colocação dos difusores novos, representados através desse coeficiente, as condições precárias de funcionamento no campo. (CEMIG, 1993) conduzindo estudos para avaliar pivôs centrais, verificaram que dentre 11 pivôs analisados, um apresentou CUC de 63%, três estavam com CUC abaixo de 80% e os sete restantes com CUC maiores de 80%. (MERRIAN et al., 1973) recomendam valores elevados de distribuição de água (CUC >88%) para culturas de alto valor econômico e com sistema radicular raso, já para o caso de árvores frutíferas e culturas com sistemas radicular profundo, admite-se uniformidade menores ( $70\% < \text{CUC} < 80\%$ ). De fato os valores de CUC encontrados (89,49 % e 87,76% ) após a troca dos difusores estão dentro da faixa consideradas adequadas para a produção de culturas de alto valor econômico com sistema radicular raso, cultivado nas áreas desses pivôs.

#### **4.3.2 Perfil de distribuição de água**

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6, observa-se os perfis de distribuição da água ao longo da linha lateral dos pivôs 1 e 2, antes e depois da troca dos difusores.

Pela análise das figuras 3 e 4, verifica-se os problemas na distribuição da água ao longo da linha lateral. As lâminas acima da média verificadas nos primeiros difusores foram causadas, provavelmente, por problemas de funcionamento das válvulas reguladoras de pressão, uma vez que nessa região constata-se a ocorrência de pressões elevadas ao longo da lateral. As lâminas abaixo da média verificadas na extremidade da lateral também foram causadas pelos desgastes dos reguladores de pressão, pois, no início da lateral a pressão foi maior. A finalidade dos reguladores de pressão é permitir uma uniformização da pressão ao longo da lateral, fornecendo a mesma pressão em todos os pontos da lateral,

independentemente da vazão do emissor.

Nas figuras 5 e 6 observa-se que após a troca dos difusores e reguladores, as lâminas coletadas na extremidade da lateral aumentaram, tanto no pivô 1 como no pivô 2, funcionando adequadamente e promovendo uma melhor distribuição de pressão ao longo da lateral, resultando no aumento do CUC em 34,76 % e 24,22 %, nos pivôs 1 e 2, respectivamente.

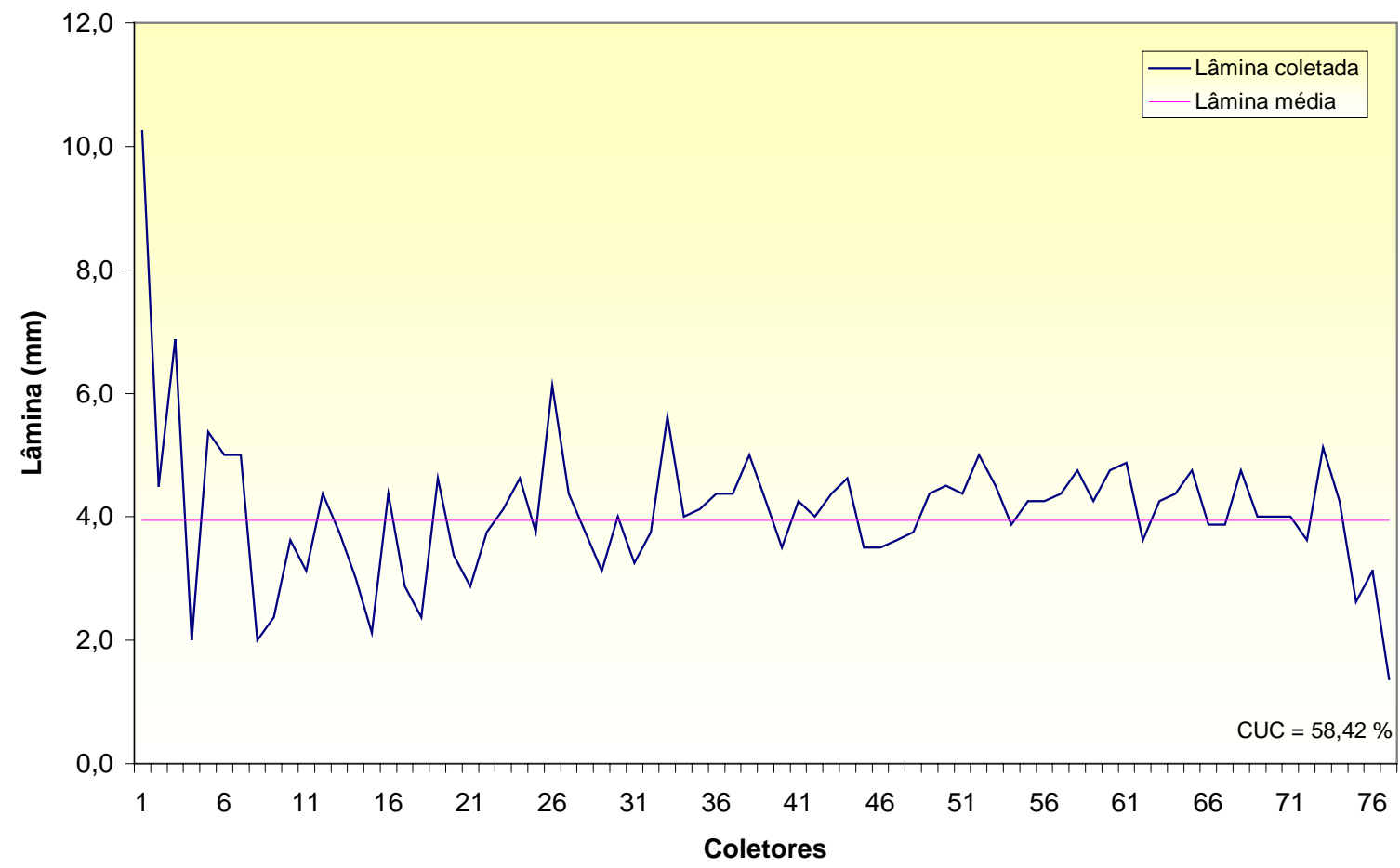


Figura 3 – Perfil de distribuição de água do pivô 1, na posição de alicive, com reguladores e difusores usados.

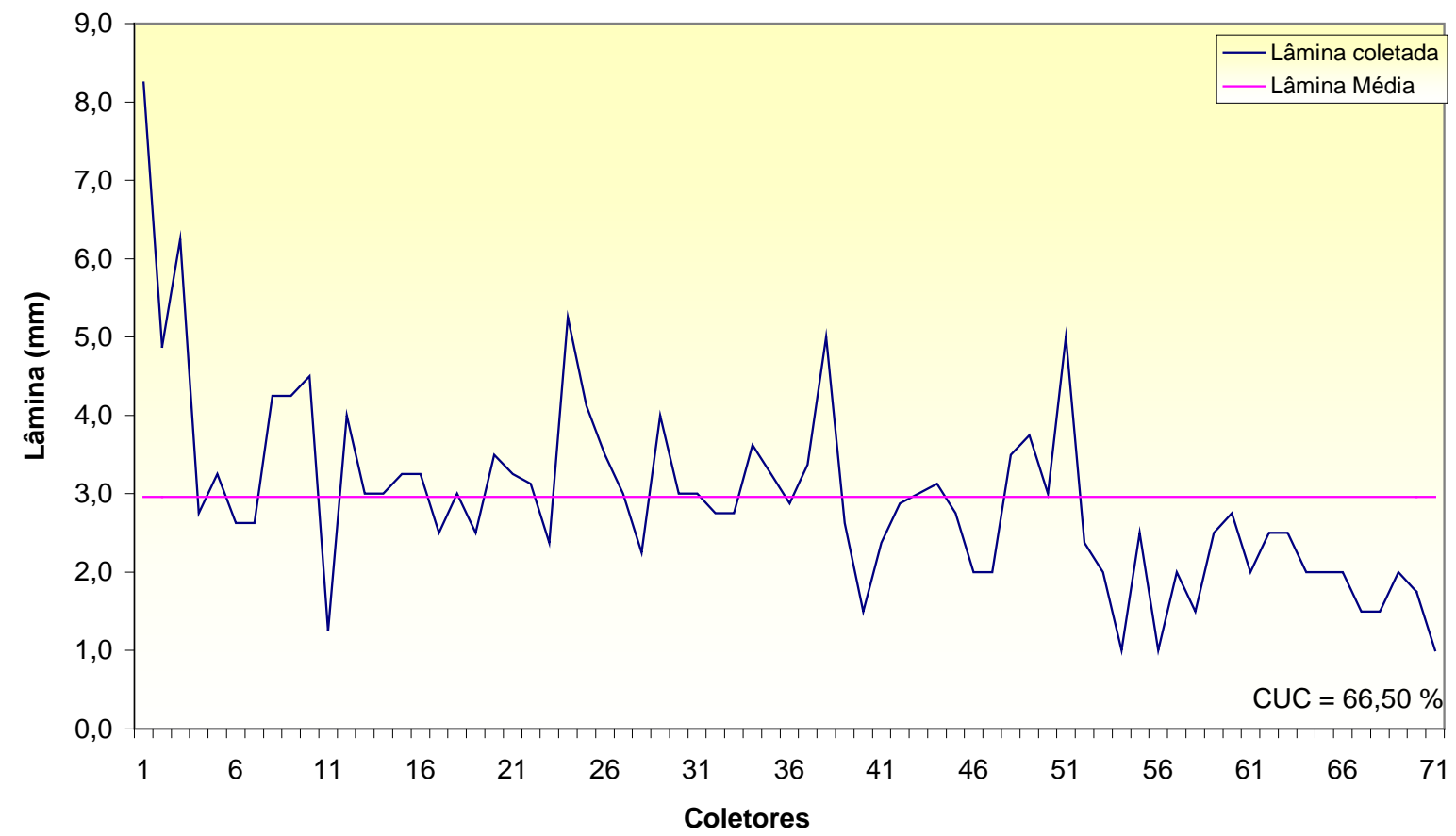


Figura 4 – Perfil de distribuição de água do pivô 2, na posição de aclave, com reguladores e difusores usados.

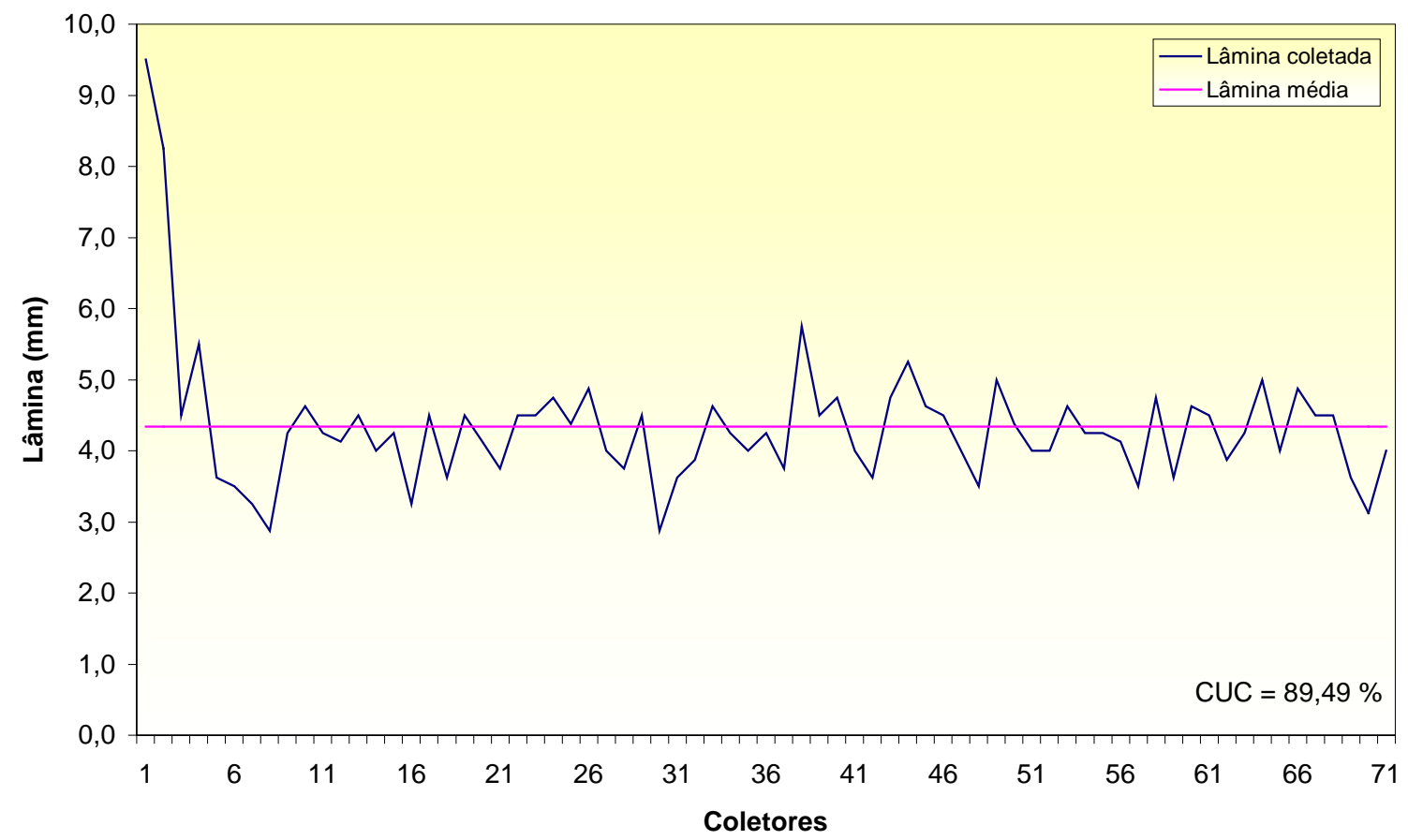


Figura 5 – Perfil de distribuição de água do pivô 1, na posição de aclave, com reguladores e difusores novos.

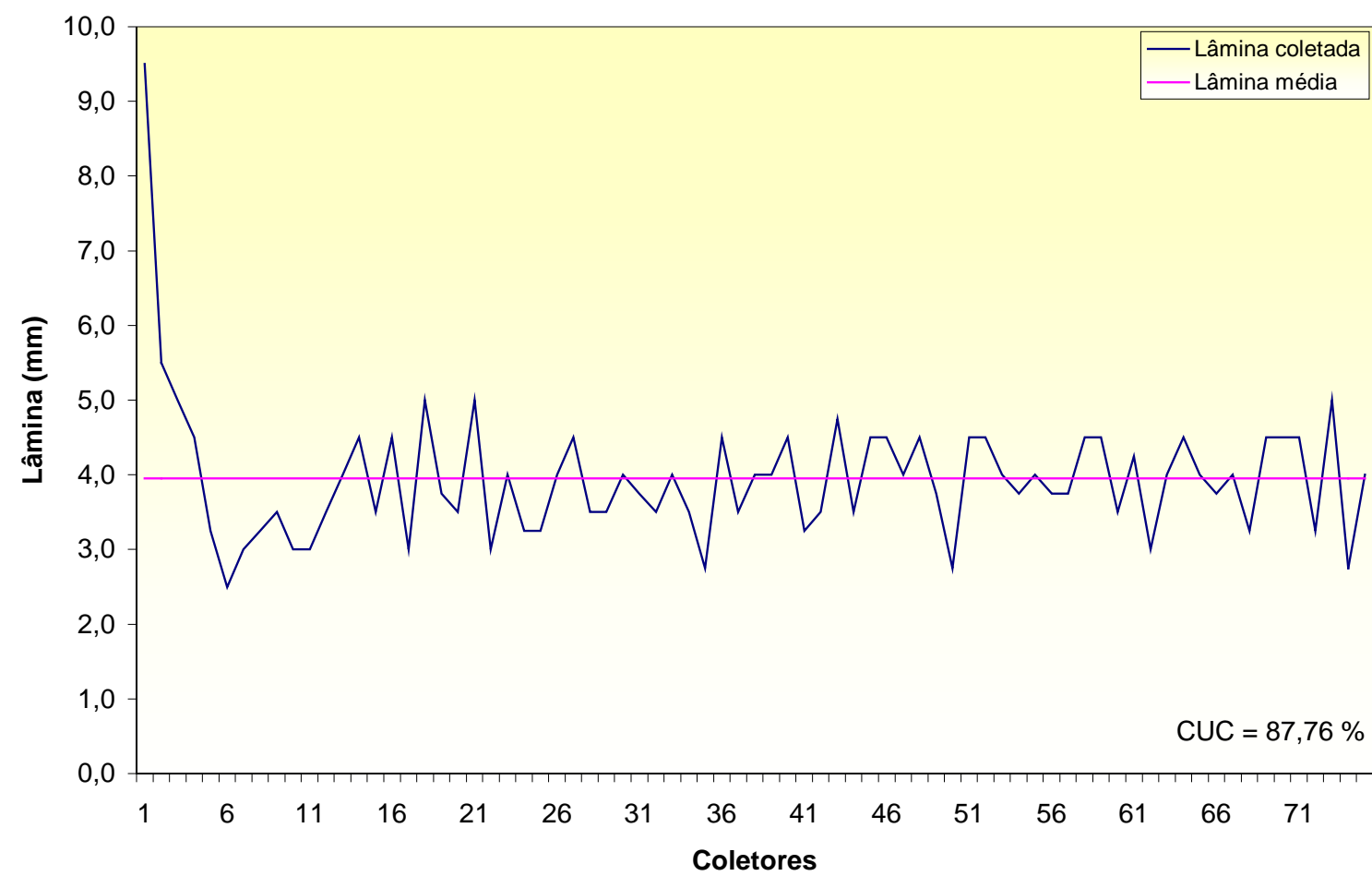


Figura 6 – Perfil de distribuição de água do pivô 2, na posição de aclave, com reguladores e difusores novos.



## **5 - CONCLUSÕES**

- Pelas avaliações dos equipamentos, confirmou-se o desgaste do equipamento em condições de campo.

- Os valores de vazão utilizados no redimensionamento, superior ao projetado, nos dois pivôs, demonstram que os equipamentos foram projetados inadequadamente.

- Foi observado que com a troca dos difusores e reguladores de pressão, houve um incremento no CUC da ordem de 34,76% e 24,22% para os pivôs 1 e 2, respectivamente.

- Com relação a lâmina aplicada foi verificado após a troca de difusores e reguladores de pressão, uma variação de 9,20% e 25,06% para os pivôs 1 e 2, respectivamente.

- O grande desgaste apresentado pelos equipamentos demonstrou a necessidade de se fazer avaliações periodicamente, objetivando o aumento da eficiência, bem com a otimização de produtos aplicados via água.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sistema de irrigação por aspersão pivô central, caracterização e desempenho, método de ensaio. Projeto de norma 12:02.08-005. Rio de Janeiro, 1985. 22p.

AZEVEDO, J.A. de Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Brasília: EMBRAPA-DID, 1983. 53p. (Circular Técnico n.16).

BENAMI, A. & OFEN, A. Irrigation engineering: Sprinkler, trickler, surface irrigation. Principles, designe and agricultural pratices. Haifa: Agripo, 1993. 157p.

BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989. 596p.

BERNUTH, R.D. & GILLEY, J.R. Sprinkler droplet size distribution estimation from single leg test data. Transactions of the ASAE, n.27, v.5, p.1435-1441, 1984.

BRIDI, S. Análise de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por pivô central. Viçosa, 1984. 87p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1984.

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS Estudo de Otimização Energética: Setor irrigação-Pivô central. Belo Horizonte, 22p., 1993.

CHRISTIANSEN, E.J. Irrigation by sprinkling. Berkeley University of Califórnia, 1942. 142p. (Bulletin, 670).

COLOMBO, A.; ZAGGO, S.P.; ALBINO, J.A.S.; SAAD, A.M.; SCALOPPI, E.J.

- Desempenho de sistema de irrigação por aspersão pivô central em Guaíra, SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, 1988. Anais... 1988. v.1. p.237-257.
- COTRIM, C.E. Análise de uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão. Viçosa, 1988. 114p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- COTRIM, C.E.; BERNARDO, S.; SEDIYAMA, G.C.; SOARES, A.A.; DENICULI, W. Desempenho de um sistema de irrigação do tipo pivô central de baixa pressão. Irrigação e Tecnologia Moderna - ITEM, Brasília, n.33, p.21-27, 1988.
- DAVIS, J.R. Measuring water distribution from sprinkler. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.22, v.5, p.94-97, 1966.
- DILLON, R.C.; HILER, E.A. & VITTETOE, G. Center pivot sprinkler design based on intake characteristics. Transaction of the ASAE, n.15, v.5, p.966-1001, 1972.
- EDLING, R.J. Measuring water distribution from sprinklers. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.22, v.5, p.1039-43, 1979.
- ELLIOT, R.L.; NELSON, J.D.; LOFTIS, J.C.; HART, W.E. Comparison of sprinkler uniformity models. Journal of Irrigation and Drainage Division, Ann Arbor, IR4, p.321-330, 1980.
- FRIZZONE, J.A. Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência. Piracicaba: Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. (Série Didática n.3).
- FROST, K.R. Factors affecting evapotranspiration losses during sprinkling. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.64, p. 262-283, 1963.
- FUOKAWA, C. Avaliação da irrigação por pivô central na região de Rio Verde-GO. Viçosa, 1991. 68p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- GARDNER, M W.R. Some steady state solutions of the unsaturated moisture flow equation with application to evaporation from a water table. Soil Science, n.85, p.228-239, 1958.
- GILL, A.B. Power plant performance, London: Butterworth, 1984. 638p.
- GILLEY, J.R.; MIELK, L.N.; WILHELM, W.W. An experimental center pivot irrigation system for reduce energy crop production studies. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.26, v.5, p.1375-8, 1385, 1983.
- GUERRA, H.O.C. Irrigação por pivô central no serviço de produção de sementes básicas (Bebedouro II). I. Avaliação Técnica. Petrolina: EMBRAPA, 1988. p.1-43. (Documento n.51).
- HART, W.E. & REYNOLDS, W.N. Analytical design of sprinkler system. Transactions of

- the ASAE, St. Joseph, n.8, v.10, p.83-9, 1965.
- HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. Agricultural Engineers, St. Joseph, n.42, v.7, p.354-5, 1961.
- HART, W.E.; PERI, G.; SKOGERBOE, G.V. Irrigation performance: an evaluation. Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE, New York, n.105, v.IR3, p.275-88, Sept. 1979.
- HEERMANN, D.F.; WALLENDER, W.W; BOS, M.G. Irrigation efficiency and uniformity. In: HOFFMAN et al (eds). Management of farm irrigation systems. 1990. p.125-149.
- HEERMANN, D.F. & HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center-pivot sprinklers irrigation systems. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.11, v.1, p.11-5, 1968.
- INSTITUTO DE PESQUISA AGRONÔMICAS. Seção de Ecologia Agrícola. Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul. 3v. Porto Alegre, 1989.
- ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V. Irrigation: principles and practices. 3ed. New York: John Wiley & Sons, 1962.
- JAMES, L.G. & BLAIR, S.K. Performance of low pressure center pivot system. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.27, v.6, p.1753-7, 1962, 1984.
- JAMES, L.G.; EVANS; R.G.; THOMPSON; R.G.; FOLLOWS, R.L. A comparison low pressure center pivot irrigation system. Transactions of the ASAE , St. Joseph, p. 82-2004, 1982. 12p
- JENSEN, M.E. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, Madison, ASAE, 1983. 829p.
- JENSEN, M.E.; SWARNER, L.R.; PHELAN, J.T. Improving irrigation efficiencies. In: HAGAN, R.M. Irrigation of agriculture lands. Transactions of the ASAE, St. Joseph, cap. 61, p.1120-42, 1967. (Agronomy, 11).
- KARMELI, D. Estimating sprinkler distribution patterns using linear regression. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.21, p.662, 1978.
- KELLER, J. Sprinkler irrigation. In: Soil Conservation Society. National Engineering Handbook. 2ed. Cap.11. Washington, 1979.
- KELLER, J. Sprinkler irrigation. Logan: Utah State University, 1984. 621p.
- KINCAID, D.C. & HEERMANN, D.F. Pressure distribution on a center pivot sprinkler irrigation systems. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.13, v.11; p.556-8, 1970.

- LEME, E.J.A. Avaliação da uniformidade e eficiência da irrigação através dos modelos normal e linear. Irrigação e Tecnologia Moderna - ITEM, n.27, p.11-14, 1986.
- LINSLEY, R.K. & FRAZINI, J.B. Engenharia de recursos hídricos. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, EDUSP, 1978. 768p.
- LONGLEY, T.S.; GARIUN, P.C.; STARK, J.C. Wind drift effects on evapotranspiration under low pressure sprinkler. Transactions of the ASAE, St. Joseph, p.83-2590, 1983. 12p.
- LOPES, E.M. Riego por aspersion. Petrolina: SUDENE/MINTER-IICA, Centro de treinamento em irrigação. 1975.
- MANTOVANI, E.C. Sistema de irrigação e seus componentes. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior - ABEAS, 1989. 129p. (Módulo 5).
- MANTOVANI, E.C. & RAMOS, M.M. Manejo da irrigação. In: COSTA et al (eds). Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.129-158.
- MERRIAN, J.L. & KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University, 1979. 271p.
- MERRIAN, J.L.; KELLER, J.; ALFARO, J. Irrigation; system avaluation and improvement. Logan: Utah State University, 1973. n.p.
- MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.
- NOGUEIRA, L.C. Avaliação técnica de dois sistemas de irrigação por aspersão. Fortaleza: UFC, 1987. 124p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Ceará Viçosa, 1987.
- OLITTA, A.F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo: Nobel, 1977. 267p.
- PAIVA, J.B.D. de. Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão. São Carlos, 1980. 333p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos / USP, 1980.
- PENAFORTE, A.B.; SILVA, A.M.; FARIA, M.A.; LIME, L.A.; OLIVEIRA, M.S. Análise de performance de um sistema de irrigação por aspersão convencional, acima e abaixo da superfície do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, Ilhéus-BA, 1993. Anais... Ilhéus-BA, 1993.
- PERI, G.; HART, W.E.; NORUM, D.J. Optimal irrigation depths - a method of analysis. Journal of the Irrigation and Drainage Division. ASCE, New York, n.105, v.184, p.341-55, Dec. 1979.

- PERRENS, S.J. Numerical analysis of soil water uniformity under sprinkler irrigation. Journal Agricultural Engineering Research, Cambridge, n.30, p.23-7, 1984
- REZENDE, R. Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto a uniformidade e eficiência de aplicação de água abaixo e acima da superfície do solo. Piracicaba, 1992. 86p. Dissertação (Mestrado) - Esalq. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1992.
- SOUZA, F. & RIBEIRO, J.M. Aplicação do modelo linear de Karmeli na avaliação do sistema de irrigação por aspersão. Irrigação e Tecnologia Moderna - ITEM, n.16, p.7-10, 1984.
- RING, L. & HEERMANN, J.F. Determining center-pivot sprinkler uniformities. Logan: USDA, 1978. n.p. (USDA. paper, 78-2001)
- RODRIGUES, B.H.N.; SILVA, W.L.C. & FIETZ, C.R. Desempenho de um pivô central sob as condições dos tabuleiros litorâneos do Piauí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 9, Fortaleza, 1992. Anais... Fortaleza, 1992. p.997-1018.
- ROLLAND, L. Mechanized sprinkler irrigation. Roma: FAO, 1982. 408p. (FAO irrigation and drainage paper, 35).
- RUSSEL, G.E. Flow through pipes. In: ----- Hydraulics. 5.ed. New York: Henry Holt, 1942. cap.8. p. 180-266.
- SAAD, A.M.; ALBINO, J.A.S. & COLOMBO, A. Irrigação: Por que avaliar o desempenho dos equipamentos. Maquinaria Agrícola, n.2, v.4, p.1-4, 1987.
- 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. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- SCALOPPI, E.J. Eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão. Irrigação e Tecnologia Moderna - ITEM, Brasília, n.16, p.37-40, 1984.
- SILVA, J.G.F. da & PEREIRA, J.R.B. Análise da uniformidade de aplicação de água em um pivô central de média pressão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, Campinas-SP, 1994. Anais... Campinas-SP, 1994.
- SILVA, W.L.C. Considerações sobre o uso de “sprays” de baixa pressão em pivô central. Irrigação e Tecnologia Moderna - ITEM, Brasília, n.39, v.12, p.26-27, 1989.
- SILVESTRE, P. Hidráulica geral. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 1979. 315p.
- SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; JUNIOR, L.T.; SCHNEIDER, A. Desempenho e otimização de um sistema de irrigação do tipo pivô central. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, Santa Maria-RS, 1992. Anais... Santa Maria-RS, 1992. p.836-845.
- SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. Transactions of the ASAE, St. Joseph, n.22, v.5, p.1034-38, 1979.
- SPINK, L.J. Principles and practice of flow water engineering. 8.ed. Foxboro: The Foxboro Co., 1967. 575p.
- STREETER, V. L & WYLIE, E.B. Mecânica dos Fluídos. 7ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1982. 585p
- TEIXEIRA, A.S. dos. Estudo do efeito de diferentes tipos de emissores na performance de um sistema de irrigação por aspersão pivô central. Piracicaba, 1992. 78p. Dissertação (Mestrado) - Esalq. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1992.
- TOMAZELA, C. Desempenho hidráulico de um pivô central de baixa pressão em terreno com topografia variável. Piracicaba, 1981, 86p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, 1991.
- TOOYAMANI, K.P.; NORUM, D.L.; DUBETZ, S. Application rates and uniformity under center-pivot sprinkler irrigation system using spray nozzles. Canadian Agricultural Engineering, Ottawa, n.29, v.2, p.49-54, 1987.
- WALKER, W.R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficient model. Journal of the Irrigation and Drainage Division. ASCE, New York, n.105, v.182, p.129-36, June. 1979.
- ZANINI, J.R.; PAVANI, L.C.; BELLINTANI, C.A.; STORINO, M. Avaliação de um sistema de irrigação pivô central quanto a alguns aspectos hidráulicos e uniformidade de distribuição de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, Ilhéus-BA, 1993. Anais... Ilhéus-BA, 1993.