

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**MESTRADO**

**AValiação DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**  
**INSTALADOS NA PROPRIEDADE LAGOA DO OURO**  
**NO MUNICÍPIO DE JEQUIÉ-BAHIA**

**DISSERTAÇÃO**  
**ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA**

**Campina Grande – Paraíba**  
**Abril – 1999**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM  
DEPARTAMENTO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO INSTALADOS NA PROPRIEDADE  
LAGOA DO OURO NO MUNICÍPIO DE JEQUIÉ-BAHIA

ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA

CAMPINA GRANDE – PARAÍBA

1999

ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA

AVALIAÇÃO DOS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO INSTALADOS NA  
PROPRIEDADE LAGOA DO OURO NO MUNICÍPIO DE JEQUIÉ-BAHIA

Dissertação apresentada a Universidade Federal da  
Paraíba para a obtenção do título de mestre em  
engenharia agrícola. Área de concentração em irrigação  
e drenagem.

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ DANTAS NETO

Co-Orientadora: Profa. Dra. VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA

Campina Grande - Paraíba

Maio - 1999



A447a	<p>Almeida, Roger Luiz da Silva. Avaliação dos sistemas de irrigação instalados na propriedade Lagoa do Ouro no município de Jequié - Bahia / Roger Luiz da Silva Almeida. - Campina Grande, 1999. 64 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1999.</p> <p>Referências. "Orientação : Prof. Dr. José Dantas Neto, Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima".</p> <p>1. Irrigação - Lagoa do Ouro - Jequié-BA. 2. Lagoa do Ouro - Jequié (BA). 3. Dissertação - Engenharia Agrícola. I. Dantas Neto, José. II. Lima, Vera Lúcia Antunes de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título</p> <p style="text-align: right;">CDU 631.67(043)</p>
-------	---



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

**ROGER LUIZ DA SILVA ALMEIDA**

Título: "Avaliação dos Sistemas de Irrigação Instalados na Propriedade Lagoa do Ouro no Município de Jequié-Bahia".

COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER

José Dantas Neto  
Dr. José Dantas Neto-Orientador

APROVADO

Vera Lúcia Antunes de Lima  
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima-Examinadora

APROVADO

Alberício de Andrade Pereira  
Dr. Alberício de Andrade Pereira-Examinador

APROVADO

Campina Grande, 29 de abril de 1999

Ofereço. A minha mãe Tereza , minha avó Maria (in memorian), aos  
meus irmãos Thasso, Yula, Graça a minha companheira  
Marta e aos meus filhos Roger e Gustavo.

Dedico. Aos amigos Marcos Fellipe, Erivaldo (Pneu), Paulo  
Pina,Eugênio, Nildo, Gutemberg , Claudia, Vani e Kel

## AGRADECIMENTOS

A Deus por nos dar o infinito prazer de novas descobertas.

A CAPS, pelo apoio financeiro durante a maior parte do curso.

Ao laboratório de irrigação e drenagem e aos seus professores pelos matérias concedidos e pelos ensinamentos ministrados.

Ao meu orientador José Dantas Neto pela paciência, amizade e sugestões dadas.

Ao Engenheiro Agrônomo Gelney Ferreira Rios pela ajuda dada durante a parte prática deste trabalho.

Ao Engenheiro Agrícola José de Arimatea de Matos pela orientação dada durante a fase de cálculos.

A Gilberto Brandão que enriqueceu meus conhecimentos em informática.

A Newton Souza Filho proprietário da fazenda Lagoa do Ouro pelo consentimento para a realização do experimento.

A todos os funcionários da fazenda Lagoa do Ouro.

E aos demais amigos que, de alguma forma, contribuíram na elaboração desta dissertação.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	vii
LISTA DE TABELA .....	viii
QUADROS .....	ix
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
1 - INTRODUÇÃO .....	1
2 - REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 – Aspectos gerais dos sistemas de irrigação pivô central e canhão hidráulico....	3
2.2 - Uniformidade de distribuição de água .....	4
2.3 – Eficiência de aplicação na aspersão .....	7
2.4 – Perdas de água na irrigação por aspersão .....	9
3- MATERIAL E MÉTODOS .....	12
3.1 - Localização dos ensaios .....	12
3.2 - Caracterização dos sistemas de irrigação .....	15
3.3 - Instalação do Experimento .....	17
3.3.1 – Pivô central .....	17
3.3.2 – Canhão hidráulico.....	17
3.4 - Dados coletados no campo .....	18

3.4.1 - Evaporação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa.....	18
3.4.2 – Solos.....	19
3.4.3 – Pressão e Vazão.....	19
3.5 - Uniformidade de aplicação.....	21
3.6 - Eficiência de aplicação.....	23
3.7 – Eficiência de distribuição.....	25
3.8 – Eficiência de armazenamento.....	26
3.9 – Perdas por percolação.....	27
3.10 – Avaliação do dimensionamento do pivô central.....	27
4- RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1- Sistema Pivô Central.....	28
4.1.1 – Precipitação.....	28
4.1.2 – Lâminas médias coletadas.....	29
4.1.3 – Uniformidade de aplicação de água.....	34
4.1.4 – Índices de eficiência e perda por percolação.....	36
4.1.5 – Influência dos fatores climáticos no desempenho do pivô central.....	38
4.1.6 – Desempenho do pivô central utilizando-se o DIMPIVÔ.....	40
4.2 – Sistema Canhão Hidráulico.....	42
4.2.1 – Pressão e vazão determinados em campo.....	42
4.2.2 – Uniformidade e eficiência potencial de aplicação.....	46
5- CONCLUSÕES.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
APÊNDICE.....	58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama esquemático da área experimental.....	14
Figura 2 - Pivô Central instalado no campo.....	15
Figura 3 - Canhão Hidráulico instalado no campo.....	16
Figura 4 - Coletores distribuídos em campo para ensaio com canhão hidráulico.....	18
Figura 5 – Precipitações (mm/h) em função da pressão de trabalho (kPa).....	29
Figura 6 - Lâminas coletadas no raio S (mm).....	32
Figura 7 – Lâmina coletada no raio N (mm).....	32
Figura 8 –Lâminas coletadas no raio L (mm).....	32
Figura 9 - Lâminas coletadas no raio W (mm).....	33
Figura 10 -Lâminas coletadas com a média dos raios adotados (mm).....	33
Figura 11 - Isoietas das precipitações (mm), para o pivô central.....	34
Figura 12 - Isoietas das precipitações (mm), para o canhão hidráulico.....	44
Figura 13 – Semi-perfil transversal médio das precipitações para o canhão hidráulico.....	45
Figura 14- Perfil de precipitação para o espaçamento 36 x 36 (m).....	51
Figura 15- Perfil de precipitação para o espaçamento 42 x 42 (m).....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pressão recomendada e raio de alcance para diferentes tipos de sistemas pivô central.....	20
Tabela 2 – Máxima aplicação característica de cinco tipos de sistemas pivô central	29
Tabela 3 – Características físicas do solo e do manejo da irrigação.....	30
Tabela 4 – Coeficientes de Uniformidade, em cada raio e com os quatro raios simultâneos.....	35
Tabela 5 – Índice de eficiência e perda por percolação, em cada raio e com a média dos quatro raios simultâneos.....	37
Tabela 6 - Influência dos fatores climáticos na área irrigada pelo pivô central.....	39
Tabela 7 - Parâmetros de avaliação do desempenho do sistema pivô central determinados pelo DIMPIVÔ e pelas equações.....	40
Tabela 8 - Valores dimensionados através do programa DIMOPIVÔ e valores de campo, obtidos durante a realização dos ensaios.....	41
Tabela 9 - Parâmetros calculados para o aspersor Plona - PLN25, com bocais de 14 x 6 (mm), e altura do tubo de elevação 0,5 (m).....	43
Tabela 10 - Coeficientes de uniformidade e eficiência potencial de aplicação para vários espaçamentos (m.....	47
Tabela 11- Parâmetros de uniformidade e eficiências para vários espaçamentos.....	48
Tabela 12 –Valores de eficiência de distribuição de água (%), em função do CUC e da percentagem de área adequadamente irrigada.....	49

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resultados da análise de água utilizada na irrigação.....	13
Quadro 2 - Resultados dos volumes coletados no raio S (ml).....	59
Quadro 3 - Resultados dos volumes coletados no raio N (ml).....	60
Quadro 4 - Resultados dos volumes coletados no raio L (ml).....	61
Quadro 5 - Resultados dos volumes coletados no raio W (ml).....	62
Quadro 6 - Resultados dos volumes médios coletados nos quatro raios simultaneamente.....	63
Quadro 7 - Dados de precipitação (ml) médias coletadas durante os ensaios realizados com canhão hidráulico.....	64

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os sistemas de irrigação por aspersão do tipo pivô central e canhão hidráulico instalados na propriedade Lagoa do Ouro no município de Jequié-Bahia, no período de agosto a novembro de 1998. Os testes foram realizados seguindo as normas da ABNT, utilizando diferentes metodologias empregadas para determinação dos parâmetros de avaliação da aplicação de água (Uniformidade e Eficiência), de sistemas de irrigação por aspersão tipo pivô central e canhão hidráulico. As lâminas médias calculadas em cada ensaio mostraram-se insuficientes se comparadas com a evapotranspiração de referência medida através do tanque classe A. Estudando os quatro raios simultaneamente no pivô central, somente o coeficiente de uniformidade estatístico de Marek et al., apresentou valor (94%) dentro da faixa considerada como equipamento bem projetado e funcionando adequadamente, enquanto que o coeficiente de uniformidade de distribuição (63%) foi considerado como inaceitável. Estudando raio por raio, individualmente, verificou-se baixos valores de coeficientes de uniformidade em dois dos quatro raios analisados, onde a velocidade e a direção do vento foi o fator climático de maior influência. Quanto a eficiência de aplicação para os quatro raios estudados simultaneamente com valor de 75%, foi considerada como aceitável, no entanto para o estudo de cada raio individualmente, novamente os dois raios apresentaram baixos valores de eficiência de aplicação de água. No que diz respeito a performance do canhão hidráulico, para o espaçamento utilizado pelo produtor (30 x 30m), apesar de apresentar um valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen (77%), considerado como bom, sua eficiência de aplicação de 57% é considerada como baixa.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate a center-pivot and a gun sprinkle irrigation systems installed in Lagoa do Ouro farm in the municipality of Jequié, Bahia State, in the period from August to November of 1998. The field evaluations were performed according to the ABNT standards. Different methodologies for determining the parameters of water application evaluation were used (uniformity and efficiency). For the central pivot system, it was verified that the average water depth, measured in each field evaluation, were insufficient when compared to the reference evapotranspiration measured in the tank class A. Analyzing the four radios simultaneously, the Marek et al. statistical uniformity coefficient was equal to 94%. This value indicates that the equipment was well designed and is working appropriately. The distribution uniformity coefficient equal to 63% was considered as unacceptable. Analyzing each radio individually, low values of uniformity coefficients were found in two of the radios. In these radios, the speed and direction of the wind were the factors of higher influence. The application efficiency for the four radios, analyzed simultaneously, was of 75%, which is considered as acceptable. Analyzing each radio individually, again the two radios presented low values of water application efficiency. For the gun irrigation system, the spacing of 30 x 30m used by the farmer presents a value of the coefficient of uniformity of Christiansen equal to 77%, considered as good. The application efficiency found was of 57%, considered low.

## 1 - INTRODUÇÃO

A água é essencial para o desenvolvimento das culturas, devendo-se fazer o melhor uso possível da água disponível para se obter produção satisfatória e altos rendimentos. Isto exige conhecimento adequado do efeito da água de chuva ou irrigação sobre o crescimento das culturas e seu rendimento em diferentes condições do ciclo vegetativo. Desde a descoberta da importância da água para as plantas e conseqüentemente do advento da irrigação, o homem vem buscando formas mais adequadas de fornecer água para as plantas, trabalhando na melhoria dos diversos tipos de sistema de irrigação, bem como no estudo das necessidades hídricas de cada cultura.

O aumento da produção agrícola está diretamente relacionado com a utilização de sistemas de irrigação eficientes, que garantem um bom retorno do investimento aplicado pelo produtor, pois permite melhor aproveitamento da água aplicada e maiores números de colheitas em um determinado período.

Um bom sistema de irrigação deve aplicar água no solo uniformemente, até determinada profundidade, proporcionando umidade necessária ao desenvolvimento normal das espécies vegetais. As medidas de uniformidade expressam a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo. Uma forma usual de obtê-las é por meio de medidas de dispersão, expressando-se de forma adimensional, pela comparação com o valor médio, (Frizzone, 1992).

Segundo a forma de aplicação de água às plantas, os métodos de irrigação podem ser divididos em duas categorias: a irrigação pressurizada e não pressurizada também conhecida como irrigação por gravidade. Os métodos pressurizados por sua vez podem ser divididos em irrigação por aspersão e irrigação localizada. Os sistemas de irrigação por aspersão tem alcançado níveis consideráveis de evolução nos últimos anos, demonstrando que esta tecnologia encontrou condições ideais para a sua aplicabilidade em várias regiões do Brasil. Um dos problemas destes sistemas de irrigação é a má uniformidade de distribuição de água, sendo seu conhecimento de fundamental importância, já que ela intervém na qualidade da irrigação e conseqüentemente nos rendimentos das culturas.

Considerando a ausência de avaliação a nível de campo dos sistemas de irrigação por aspersão do tipo pivô central e canhão hidráulico na grande maioria dos municípios baianos, bem como números limitados de trabalhos de pesquisa que se refiram é que se torna pertinente a presente proposta de projeto.

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar os sistemas de irrigação por aspersão existentes na propriedade Lagoa do Ouro no município de Jequié – Bahia. E teve como objetivos específicos, calcular a uniformidade de distribuição de água e a eficiência de aplicação, bem como relacionar as lâminas coletadas com a evapotranspiração potencial da cultura, identificar quais fatores climáticos exercem maior influencia sobre a uniformidade de distribuição de água em sistema pivô central, identificar se o programa computacional DIMPIVÔ é útil para análises de problemas envolvendo o sistema de irrigação do tipo pivô central, verificar o melhor espaçamento para o canhão hidráulico.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Aspectos gerais dos sistemas de irrigação Pivô central e canhão hidráulico

Os sistemas de irrigação pressurizados pivô central e canhão hidráulico apresentam como vantagens principais economia de mão de obra e economia de tubulações e como limitação o alto consumo de energia. O pivô central quando bem dimensionado apresenta uma melhor uniformidade de aplicação de água do que o canhão hidráulico, entretanto pode-se melhorar a performance do canhão hidráulico desde que se saiba quais os fatores que atuam contra o seu desempenho.

O pivô central consiste numa linha lateral com aspersores, autopropelida, que se movimenta em círculo e em torno de um ponto a uma velocidade prefixada e constante. Por causa do sistema ser autopropelido, a mão-de-obra fica substancialmente reduzida na operação da irrigação. Permite também a aplicação direta de fertilizantes e defensivos. Segundo Souza (1994), a área irrigada no Brasil por este sistema era de aproximadamente 230.000 ha no ano de 1988, representando cerca de 10% da superfície total irrigada no País.

O pivô central permite o uso de um aspersor de alta pressão no final de sua lateral, com a finalidade de aumentar a área irrigada e reduzir os custos totais do sistema por hectare. Entretanto, o uso destes aspersores no final na linha lateral, que funciona com

aspersores de baixa pressão, requer uma pressurização adicional (bomba booster) a fim de não comprometer o desempenho total do sistema, (Scaloppi & Allen 1993).

Os canhões hidráulicos ou aspersores gigantes são equipamentos de irrigação que funcionam com pressões que variam desde 400kPa até mais de 1000kPa, e cujo raio de alcance (círculo efetivo molhado por cada aspersor) varia entre valores compreendidos de 30 a 100 metros. Na maioria dos casos o canhão hidráulico é utilizado de forma portátil, instalado sobre linhas laterais, de maneira similar ao funcionamento de um sistema convencional. O aspersor gigante ou canhão irriga separadamente cada setor da área da parcela e é deslocado de uma posição a outra, após a aplicação de cada irrigação. Devida a elevada vazão necessária para abastecê-los, cada lateral é equipada com apenas um canhão ou aspersor gigante, (Gomes 1994).

Matsura (1987) e Frizzone (1992), citam o coeficiente de uniformidade de distribuição, a eficiência de aplicação, a eficiência de distribuição, a eficiência de aplicação em potencial, a eficiência de armazenamento e perdas por percolação profunda como parâmetros para testar a qualidade da irrigação nos sistemas pivô central e canhão hidráulico.

## **2.2 – Uniformidade de distribuição de água**

Pela ABNT (1994) a uniformidade de distribuição de água na aspersão é a estimativa da uniformidade de precipitação sobre o terreno.

Em uma irrigação com baixa uniformidade, algumas zonas recebem menos água que a quantidade necessária, o que pode acarretar prejuízos para o desenvolvimento das plantas. Da mesma forma as partes irrigadas que recebem uma quantidade de água superior

a necessária estarão sujeitas a encharcamento e erosão do solo, ou no melhor dos casos a perdas de água por percolação e lavagem de nutrientes, (Coelho,1990).

Para Ring & Heermann (1978), a uniformidade de distribuição de água é uma característica que pode ser usada para comparar sistemas. Uma uniformidade pobre resulta num excesso e/ou déficit dentro de uma mesma área cultivada. Assim, um sistema de baixa uniformidade, para obter os mesmos rendimentos culturais, deve aumentar a distribuição de água. Grande número de sistemas de aspersão, principalmente o de pivô central fazem aplicações de produtos químicos, sendo que, nesse caso, as áreas com baixa uniformidade recebem uma excessiva aplicação produzindo efeitos danosos a cultura.

Um dos objetivos da irrigação por aspersão é distribuir a água uniformemente sobre o solo de tal maneira que esta possa se infiltrar sem que ocorram perdas por escoamento superficial, no entanto sabe-se que diversos fatores contribuem para a desuniformidade de aplicação de água por parte deste sistema, tais como tipo e tamanho do bocal dos aspersores, pressão de serviço, velocidade e direção do vento e temperatura local. A ação destes fatores comumente é avaliada em termos de um coeficiente de uniformidade, através do qual pode ser analisada a performance do sistema. Existem várias equações para calcular a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão sendo o coeficiente de Christiansen, o mais utilizado (Gomes 1994 e Bernardo 1995).

Merriam et al. (1973), recomendam valores elevados de uniformidade de distribuição de água ( $CUC > 88\%$ ) para culturas de alto valor econômico e com sistemas radiculares rasos, já para o caso de árvores frutíferas e outras culturas com sistema radicular profundo, admite-se uniformidade menores ( $70\% < CUC < 80\%$ ).

Em irrigação por aspersão, altos índices de uniformidade em geral estão relacionados com menores espaçamentos entre aspersores, proporcionando um elevado custo do sistema de irrigação. Para culturas de alto valor econômico, especialmente aquelas

de sistema radicular pouco profundo, o mais econômico sistema de irrigação geralmente é aquele que proporciona alta uniformidade de distribuição de água ( UD superior a 80% ou CUC superior a 88%). Para culturas com sistema radicular profundo, como frutíferas, especialmente onde é irrigação é suplementar, os valores de uniformidade de distribuição podem ser menores (UD de 50 a 70% ou CUC de 70 a 82 %). Para culturas com profundidade média do sistema radicular, recomenda-se valores entre 70 a 80% para UD e 82 a 88% para CUC, (Frizzone, 1992).

Os valores do coeficiente de uniformidade abaixo da superfície do solo são mais altos que os valores acima da superfície o que mostra que a uniformidade subsuperficial pouco depende da uniformidade acima da superfície, (Rezende et al.1993).

O coeficiente de uniformidade é importante no dimensionamento de um pivô central. Para computar a uniformidade atual se requer conhecer dados de topografia da área detalhes e informações sobre o pivô, tais como seqüência de início e parada de funcionamento em cada torre, a correta localização dos aspersores, bem como os espaçamentos entre os bocais ao longo da linha lateral, Wilmes et al. (1994).

Valores típicos de coeficiente de uniformidade para pivô central bem dimensionados com aspersores de impacto estão compreendidos em uma faixa de 93 a 96%, enquanto que os pivôs com aspersores tipo difusores possuem um coeficiente de uniformidade no intervalo de 91 a 95 %, Keller & Bliesner, (1990).

Para Abo-Ghobar ( 1992 ), os parâmetros usados para se avaliar um sistema de irrigação tipo pivô Central são : uniformidade de distribuição ( Du ), eficiência potencial de aplicação ( EPA ), e o coeficiente de uniformidade ( Cu ). Os valores de Du menores que 67 % não é considerado aceitável, e 90% é o máximo admitido. Os valores de EPA são geralmente inferiores ao valor de Du, valores de Cu menores de 75 % são considerados inaceitáveis.

De acordo com Lopez (1975), o vento é o que produz maiores variações na uniformidade de distribuição de água. A sua velocidade tem um papel importante na eficiência do sistema. Conforme analisa Fry & Gray (1969), o vento é um fator que não pode ser controlado, embora se possa minimizar os seus efeitos na uniformidade de distribuição de água com o emprego correto de alguns parâmetros calculados no projeto.

Além do vento a pressão também pode influenciar na uniformidade de distribuição de água dos sistemas de irrigação por aspersão. Kincaid & Heermann (1969) comentam que devem ser mantidas pressões adequadas através do sistema de irrigação para se obter as vazões desejadas e uma aplicação uniforme de água pelos aspersores.

Segundo Assis (1990), a pressão no ponto do pivô, ou seja, a pressão no início da tubulação principal, não influencia a uniformidade, mas sim a pressão do bocal quando o sistema apresenta regulador de pressão, e a velocidade de operação do sistema não influencia nos resultados do coeficiente de uniformidade, sendo que com elevadas velocidades de vento, associadas a pressão de serviço dos bocais superior a recomendada, provocam baixos valores do coeficiente de uniformidade em alguns raios, devido a redução da superposição do jato pulverizado.

### **2.3 - Eficiência de aplicação na aspersão**

Eficiência de aplicação na aspersão é a estimativa da percentagem do total de água aplicada na irrigação por aspersão que atinge a superfície do solo e/ou as plantas ( ABNT 1994).

Keller (1984), afirma que a eficiência da aplicação é o parâmetro mais utilizado na definição da eficiência de irrigação por aspersão. O autor define eficiência de aplicação como sendo a razão entre a altura da lâmina de água armazenada na zona radicular e a altura média de água aplicada. A eficiência de aplicação fornece uma indicação das perdas,

no entanto, pode não fornecer boa adequacidade da irrigação, pois numa irrigação deficiente pode-se alcançar valores de até 100%. A eficiência estima a perda de água por evaporação e por arrastamento pelo vento, no trajeto das gotas. As principais variáveis que afetam estas perdas são: velocidade do vento, umidade relativa do ar, e a temperatura.

As medidas de eficiência quantificam fisicamente a qualidade da irrigação, por incorporarem algumas conseqüências da uniformidade. Se por um lado as medidas de uniformidade dependem somente do grau de dispersão com que a água é aplicada, por outro lado, as medidas de eficiência dependem tanto da uniformidade como da forma com que o sistema de irrigação é operado, (Frizzone, 1992).

A lâmina de água requerida numa irrigação é independente do tipo de sistema de irrigação em uso, mas a lâmina aplicada, que é a razão entre a quantidade de água requerida e a eficiência do sistema, é uma função da eficiência de aplicação a qual depende do equipamento de irrigação e práticas de manejo usada pelo agricultor, (Gilley & Supalla, 1983).

De acordo com Bernardo (1995), o vento, a umidade relativa do ar e a temperatura são os principais elementos climáticos que afetam o uso da irrigação por aspersão. O vento afeta a uniformidade de distribuição de água dos aspersores, juntamente com a temperatura e a umidade relativa do ar, que afetam a perda de água por evaporação. Quanto maior for a velocidade do vento e menor o diâmetro das gotas de água, menor será a eficiência de aplicação

Lopez (1975), afirma que o elemento climático de consideração mais importante na aspersão é o vento, devendo-se ter, por um lado, uma idéia aproximada de sua velocidade que desempenha um papel significativo na eficiência de aplicação e, por outro, sua direção, que deve ser levada em conta nas disposições das tubulações. O autor esclarece, ainda, que

as altas temperaturas e a baixa umidade relativa do ar diminuem a eficiência de aplicação do sistema, aumentando as perdas por evaporação.

Paz (1990), diz que para sistemas de irrigação por aspersão convencional bem dimensionados a eficiência de aplicação aproxima-se a 85%, podendo ultrapassar esse limite se o sistema funcionar a noite e com ventos moderados.

Segundo Bernardo (1995), nos poucos trabalhos realizados a respeito da eficiência de aplicação em pivô central, os valores encontrados tem variado entre 70 e 90%. Sendo o valor de 80% possível de ser conseguido sob condições normais de dimensionamento e manejo. O pivô central de baixa pressão geralmente apresenta uma menor eficiência de irrigação, (Azevedo, 1995).

#### **2. 4 - Perdas de água na irrigação por aspersão**

As perdas de água que podem ocorrer na irrigação por aspersão resultam da deriva pelo vento, da evaporação, da percolação abaixo da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e do escoamento superficial para fora da área irrigada.

Segundo Scaloppi (1986), parte da água lançada sob pressão no ar, através dos bocais dos aspersores, evapora-se antes de atingir a superfície do solo ou plantas. A magnitude dessas perdas depende das dimensões das gotas e do poder evaporativo da atmosfera. Maiores perdas estão associadas a um aumento da temperatura, a velocidade do vento, a pressão de operação e a fragmentação do jato, a uma redução da umidade relativa do ar e do diâmetro dos bocais. As perdas causadas pela deriva ao vento assume valores típicos, variáveis entre 5 e 10%, Keller & Bliesner, (1990).

Medeiros Filho (1983) citando Hermsmeir (1973), afirma que as perdas por evaporação na aspersão podem ser minimizadas ajustando-se adequadamente a pressão de funcionamento, o diâmetro dos bocais do aspersor e o tempo de operação do sistema.

Segundo Bernardo (1995), as perdas são inversamente proporcionais a duração da irrigação e, em geral, 3 a 4 vezes maiores durante o dia do que a noite. Em trabalho conduzido no município de Pentecoste-CE, Ribeiro (1982), estimou as perdas de água por evaporação como sendo iguais a quantidade de água evaporada, durante o período de realização de um teste de avaliação de aspersão, por um recipiente localizado fora da área de coleta de precipitação. Para velocidades do vento na faixa de 1,4Km/h a 18Km/h, foram registradas perdas de 2,6 a 14,0 %.

Medeiros Filho (1983), citando Sternberg (1967) em trabalho realizado na Califórnia estudou as perdas de água por evaporação de um sistema de irrigação por aspersão. Os resultados obtidos demonstram que para os testes realizados durante o dia, com velocidade do vento entre 3,2Km/h e 6,5Km/h, temperaturas do ar entre 27,7 e 33,3° C e umidade relativas entre 24 e 46%, as perdas variam de 17 a 25 % da vazão dos aspersores. Essas perdas caíram para uma faixa de 11 a 16% para os testes realizados à noite nas mesmas condições de velocidade do vento, mas com temperatura do ar abaixo de 21° C e umidade relativas acima de 61%.

Paz (1990), encontrou perdas de água variando de 17 a 43% do volume aplicado, valores estes resultantes do somatório das perdas por evaporação e arrastamento pelo vento. O experimento foi realizado em São Gonçalo – PB, no qual a velocidade de vento variou entre 3,2Km/h a 16,6Km/h, temperatura média do ar entre 26 e 35°C e umidade relativa média entre 24 e 64%.

Uma das maneiras de se diminuir os problemas com perdas por evaporação no sistema de aspersão tipo pivô central é aumentando o diâmetro dos aspersores, (Azevedo, 1995).

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1-Localização dos ensaios

Os dados de campo foram coletados na propriedade Lagoa do Ouro localizada no município de Jequié estado da Bahia. Cujas coordenadas geográficas são: Latitude 13°52' e Longitude 40°05', com uma altitude de 199 metros.

Localizada na região sudoeste da Bahia, apresentando três tipos de diferentes vegetações, a caatinga a da mata de cipó e a da zona da mata. A região é de clima quente, semi-árido (caatinga) e seco e úmido (Zona da mata). A temperatura média anual é de 23,6 °C. A umidade relativa mínima do ar é de 58,3% e a máxima 72,9%. A pluviometria média anual é de 500mm na caatinga e 700 a 1000 mm na zona da mata. A evapotranspiração potencial média anual é de 1.500mm, apresentando valor máximo no mês de dezembro e mínimo no mês de junho, com índices de 169mm e 68mm, respectivamente. Apresenta ventos com baixa velocidade média anual de 3,6Km/h; máxima 5,8Km/h e mínima 2,2Km/h.

A fonte de água da propriedade Lagoa do Ouro é o Rio das Contas que beneficia a maioria dos agricultores rurais da região cujas características são mostradas no Quadro I. Esta propriedade é considerada modelo na criação de gado Pardo Suíço na Bahia, necessitando de constante irrigação em forragens irrigadas, sendo os capins Tifto e o Cameron utilizados para comercialização de feno e pastagem.

Quadro 1 - Resultado da análise de água utilizada na irrigação.

PH	6,8	Resíduo total mg/l	—
CE dS/m	0,240	RAS	1,10
Dureza total mg/l CaCO <sub>3</sub>	112	CSR	—
Alcalinidade total mg/l CaCO <sub>3</sub>	84	Classificação p/irrigação	C1
Cations	meq / l	Anions	meq / l
Cálcio (Ca <sup>+2</sup> )	1,00	Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> )	—
Magnésio (Mg <sup>+2</sup> )	1,24	Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )	1,70
Sódio (Na <sup>+1</sup> )	0,87	Cloretos (Cl <sup>-1</sup> )	1,73
Potássio (K <sup>+1</sup> )	0,46	Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	—
Ferro (Fe <sup>+3</sup> )	—	Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup> )	—

As dimensões das áreas avaliadas utilizadas durante os ensaios foram 16,38ha irrigado com Pivô Central e 6,95ha com Canhão Hidráulico. O Diagrama esquemático da área, com as distribuições dos coletores sobre a superfície do solo, onde foram realizados os ensaios, e comprimentos das tubulações que compõem o sistema, se apresentam na Figura 1.

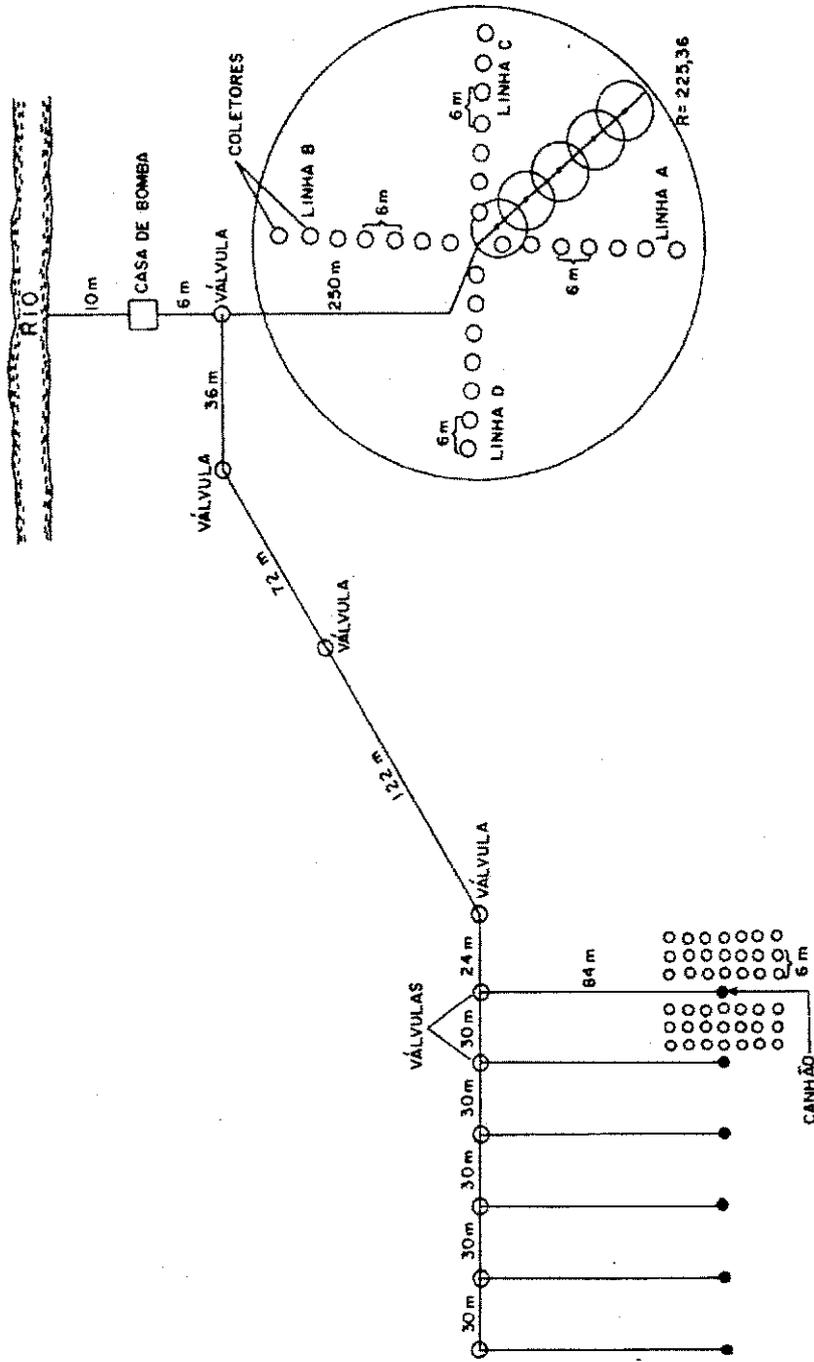


FIG. 01 - Diagrama esquemático da área experimental.

### 3.2 - Caracterização dos Sistemas de Irrigação

O Pivô avaliado é do tipo Valley modelo 8000-4871/vsn/4. Sua linha lateral tem um comprimento total de 225,36m na qual estão instalados 96 emissores tipo difusores senninger espaçados de 2,4m, todos apresentando reguladores de pressão Senninger LF 138 kPa e MFf 138 kPa.

O equipamento é constituído de 4 torres móveis com altura de 3,20m, com uma distância de 2,45m dos bocais dos aspersores até o solo. Os comprimentos e diâmetros das tubulações são respectivamente de 54,86m e 168mm para o primeiro e segundo vão e 48,00m e 219mm para o terceiro e quarto vão, com um balanço final de 19,39m. Na extremidade do pivô, existe um aspersor convencional, com raio de alcance de 15m, mas para efeito de cálculo da área utilizada, considerou-se apenas 3m, por atingir o limite da propriedade.

A pressão média medida no início da tubulação durante a realização dos ensaios foi de 280 kPa. Tendo sido dimensionada a vazão no projeto para o sistema pivô central de 78,8 m<sup>3</sup>/h , com uma velocidade de deslocamento de 87 m/h.



Figura 2 – Pivô Central instalado no campo

O canhão hidráulico avaliado foi do tipo Plona-PLN 25, com diâmetro do bocal maior de 14 mm e menor de 6 mm, com ângulo de inclinação de 27°, acoplado por rosca R 2½". O

sistema era constituído por 6 canhões com espaçamentos de 30 x 30m, sendo um por linha lateral, abastecidos por tubulações de alumínio, com comprimento de 84 m e diâmetro de 75 mm. Estas tubulações laterais recebem água de uma tubulação principal de 174m de comprimento e diâmetro de 108 mm. A pressão medida nos bocais do canhão hidráulico acusou um valor médio de 270 kPa, proporcionando uma vazão de 14,4 m<sup>3</sup>/h. A figura 3, mostra o canhão hidráulico instalado no campo.



Figura 3 - Canhão Hidráulico instalado no campo

Os sistemas pivô central e canhão hidráulico, funcionam isoladamente, mas são abastecidos por uma única adutora de 250 m de comprimento e diâmetro de 108 mm, transportando uma vazão de 79 m<sup>3</sup>/h. O conjunto eletrobomba é constituído de uma bomba KSB, modelo ANS 80-315 com um estágio, diâmetro do rotor 320mm, com capacidade de pressão de 550 kPa, rendimento 75%, funcionando a uma rotação de 1.750 rpm, com potência no eixo de 21 CV, acoplada por luva elástica a um motor marca WEG, modelo IP54, 1V pólos, com potência nominal de 25 CV, 1.750 rpm, 380 v e eficiência de 90%.

### 3.3 - Instalação do experimento

#### 3.3.1 - Pivô Central

Seguindo as normas da ABNT instalou-se 39 coletores por linha lateral com diâmetro de 100mm, e altura de 150m, espaçados entre si de 6m, com o primeiro coletor distanciado de 6m do ponto pivô. Visando-se obter um melhor alinhamento na distribuição destes coletores utilizou-se barbantes e estacas formando 4 (quatro) eixos a partir do ponto pivô, com ângulo de 90<sup>o</sup> graus entre si, medidos com o auxílio de uma bússola, formando assim 4 (quatro) raios ortogonais em relação ao ponto pivô, identificados pelas letras N, S, L, W.

Pelo turno da manhã foram realizados os ensaios no raio S, e pela tarde no raio N com três repetições para cada raio, em seguida foram realizados os ensaios para os raios L pela manhã e W pela tarde com os mesmos números de repetições. Com um total de doze ensaios para os 4 (quatro) raios.

Os testes tinham o início quando a água distribuída pelo pivô central atingia o primeiro coletor, e tinha o seu final quando a água deixava de atingir este mesmo coletor, com um tempo médio de 1:00 hora de duração. Ao final de cada ensaio se media o volume coletado com proveta de 100 e de 10 ml.

#### 3.3.2 - Canhão Hidráulico.

A área de influência do canhão foi quadriculada em sub-áreas de 36m<sup>2</sup>, no centro da qual era instalado um coletor com as mesmas características dos usados no ensaio do pivô central. Os coletores eram espaçados de 6 em 6 m, num total de 80 em toda a área, formando linhas paralelas entre si, sendo que as duas primeiras linhas se encontravam distanciadas de 3

metros em relação ao ponto central do canhão, Figura 4. A duração dos ensaios foi de 1 hora, lendo-se os volumes coletados assim que se desligava a válvula de derivação da linha lateral, estes ensaios foram conduzidos no turno da tarde.



Figura 4 - Coletores distribuídos em campo para ensaio com canhão hidráulico

### 3.4 - Dados Coletados no campo

#### 3.4.1 – Evaporação, Velocidade do Vento, Temperatura e Umidade Relativa.

Durante os testes foram colocados três coletores com volume de água conhecidos, próximo a área dos ensaios. No final mediu-se novamente o volume em ml, e a diferença correspondia a perda por evaporação durante o teste. O procedimento foi adotado tanto para o pivô quanto para o canhão.

A velocidade do vento com direção predominante no sentido L/W, foi medida através de um anemômetro a cada dez minutos. Os valores de temperaturas e a umidade relativa do ar medidas através de termômetros e psicrômetros, com as leituras tomadas no início e no final de cada ensaio.

### 3.4.2 – Solos

Em pontos aleatórios da área foram colhidas as amostras de solo, a profundidade de 0-20 cm, misturando-as em seguida para se obter uma maior representatividade. Posteriormente estas foram enviadas para a Faculdade de Agronomia e Zootecnia de Uberaba (FAZU-MG), para análise textural.

Foram, também, retiradas amostras de solo a 0-30 e 30-60 cm de profundidade sendo as mesmas colocadas em recipientes lacrados e encaminhadas imediatamente para a Universidade do Sudoeste da Bahia (UNESB-Jequié), com finalidade de medir o conteúdo de água no solo nas áreas irrigadas, antes da irrigação. Para se determinar o conteúdo de água no solo utilizou-se o método gravimétrico.

### 3.4.3 - Pressão e Vazão

Para o pivô central a pressão foi lida no início da tubulação, onde estava instalado um manômetro, a cada três aspersores e no final da tubulação com um manômetro com tubo Pitot. Foi tomada a pressão média no início da tubulação com a finalidade de se determinar se o tipo de sistema pivô central existente se enquadrava nos limites propostos Gilley (1984), conforme a Tabela 1.

No sistema pivô central a vazão dos aspersores foi medida em recipiente graduado de um litro, cronometrando o tempo de enchimento do recipiente, cujo valor da vazão, é o relação entre o volume e o tempo. Esta vazão foi determinada para cada sete aspersor, necessitando para tanto a retirada do seu difusor.

Tabela 1 - Pressão recomendada e raio de alcance para diferentes tipos de sistemas pivô central, Gilley (1984).

Tipo de sistema	Pressão Aproximada do Pivô (kPa)	Raio Aproximado do Aspersor (m)
Aspersor de impacto com alta pressão	450 – 520	20
Aspersor de impacto com média pressão	275 – 350	14
Aspersor de impacto com baixa pressão	170 – 240	10
Difusores 360° de pequena pressão	170 – 240	5
Difusores 180° de pequena pressão	170 – 240	3 <sup>a</sup>

a = Apenas uma direção

No sistema canhão hidráulico a pressão foi medida no início e final de cada ensaio com um manômetro com tubo Pittot. Para determinação da vazão dos aspersores tipo canhão acoplou-se mangueiras no bico menor e no bico maior, sendo o fluxo de água dirigidos para um recipiente graduado de um litro, cronometrando-se o tempo de enchimento do mesmo. A partir dos dados vazão e pressão coletados em campo determinou-se o coeficiente de descarga (Cd), o raio de alcance teórico (R), o índice de pulverização (Ip) e o índice de eficiência (Ie), segundo metodologia descrita por Gomes (1994), sendo:

$$a) \text{ Coeficiente de descarga (Cd)} = \frac{4q}{\pi d^2 \sqrt{2gh}} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

q, vazão em m<sup>3</sup>/s; d, diâmetro em m; g, aceleração da gravidade em m/s<sup>2</sup>; h, pressão em m.c.a.

$$b) \text{ Raio de alcance (R)} = 2h \text{ Cd}^2 \text{ sen}2\alpha \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$\alpha$ , ângulo de inclinação do aspersor

$$c) \text{ Índice de Pulverização de Tanda (Ip)} = \frac{h}{(10q)^{0.4}} \quad \text{Eq. 3}$$

$$d) \text{ Índice de eficiência (Ie)} = \frac{R}{h} \quad \text{Eq. 4}$$

### 3.5. Uniformidade de Aplicação

Para se determinar a uniformidade de aplicação do sistema pivô central, foram instalados coletores (pluviômetros) numerados, em ordem crescente, a partir do centro, e afastados entre si de seis metros de distância. A medida que se afasta do centro do pivô, tem-se que ponderar os valores de precipitação coletada, já que cada coletor representa uma área maior. O fator de ponderação é o número de ordem do coletor, ou seja, o volume ponderado equivale ao produto do volume coletado pelo número de ordem do coletor.

Calculou-se a uniformidade de aplicação isoladamente com as precipitações coletadas em cada um dos raios bem como para a média dos valores coletados nos quatro raios, utilizando-se para tanto os seguintes coeficientes de uniformidade:

a) Christiansen (1942) modificado por Heermann e Hein (1968)

$$\text{CUC} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i / Y_i - Y_{mp}}{Y_{mp} \sum_{i=1}^n S_i} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

CUC, Coeficiente de Uniformidade de Christiansen modificado por Heermann e Hein, em %;  $Y_{mp}$ , lâmina média ponderada, considerando todos os coletores, em mm;  $Y_i$ , lâmina precipitada no coletor  $i$ , em mm;  $S_i = i$ , para  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , quando os coletores estão equidistantes.

A lâmina em cada coletor foi determinada através da relação entre o volume coletado e a área do coletor. A relação encontrada na transformação dos volumes, em ml, nas respectivas lâminas, em mm, foi: Lâmina (mm) = 0,127 x Volume (ml).

b) USDA (Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos), 1968

$$CUD = \frac{Y_{mp25}}{Y_{mp}} \times 100 \quad \text{Eq. 6}$$

Onde :

CUD, coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;  $Y_{mp25}$ , lâmina média ponderada de 25% da área total que recebeu as menores precipitações, em mm.

c) Marek et al (1986)

$$CUS = 100 \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [e_i r_i (x_i - \bar{x})^2] / (n-1)}{\sum_{i=1}^n [e_i r_i / n]}} \right\} \quad \text{Eq. 7}$$

Onde:

CUS, coeficiente de uniformidade estatístico;  $x_i$ , precipitação observada em cada pluviômetro;  $\bar{x}$ , média ponderada das precipitações dos pluviômetros, em mm;  $n$ , o número de pluviômetros.

Frizzone (1992) considera que:

$e_i r_i$ , Si, como sendo o fator de ponderação a distância do coletor  $i$  ao ponto do pivô, quando os coletores estão equidistantes;  $e_i$ , intervalo entre o bocal  $i$  aspersor, até o enésimo ( $i - 1$ ) aspersor, em m;  $r_i$ , distância entre o bocal do aspersor e o ponto pivô, em m.

d) Bremond e Molle (1995)

$$CUV = 100 \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [e_i r_i (x_i - \bar{x})^2] / \sum_{i=1}^n (e_i r_i) / \bar{x}}{\sum_{i=1}^n (e_i r_i) / \bar{x}}} \right\} \quad \text{Eq. 8}$$

Onde:

CUV – coeficiente de uniformidade de Bremond e Molle, em %.

Para se determinar a uniformidade de irrigação no sistema Canhão Hidráulico foram tomadas os valores das lâminas (mm) médias, obtidas durante a realização dos três ensaios. Para se determinar o valor do coeficiente de uniformidade, foi utilizado a equação proposta por Christiansen (1942) citado por Bernardo (1995), onde através da superposição dos aspersores se determinou os valores dos coeficientes para vários espaçamentos.

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Xi - \bar{X}|}{n\bar{X}} \right) \quad \text{Eq. 9}$$

Onde:

$X_i$ , precipitação observada em cada pluviômetro;  $\bar{X}$ , Altura de precipitação média dos pluviômetros; e  $n$ , o número de pluviômetros.

Para o cálculo do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição foi utilizada a seguinte fórmula:

$$CUD = \frac{u}{U} * 100 \quad \text{Eq. 10}$$

Onde:

$u$  é a média dos 25 % dos menores valores de lâminas de irrigação e  $U$  é a lâmina média aplicada sobre a superfície do solo.

### 3.6. - Eficiência de aplicação

É definida pela relação entre a quantidade de água incorporada ao solo até a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e a quantidade de água aplicada. Esse índice incorpora a eficiência de distribuição e a eficiência em potencial de aplicação, dando idéia das perdas de água por percolação e evaporação.

$$EA = \frac{Y_s}{Y_m} * \frac{Y_m}{Y_a} \quad \text{Eq. 11}$$

Onde:

$Y_a$ , lâmina média de água aplicada, estimada com base na área irrigada, na vazão aplicada e no tempo de aplicação;  $Y_s$ , lâmina média de água armazenada no solo em disponibilidade para as plantas;  $Y_m$ , lâmina média de água coletada (infiltrada).

Ou podemos dizer que:

$$EA = ED * EPA \quad \text{Eq. 12}$$

Onde:

ED, Eficiência de distribuição; EPA, Eficiência em potencial de aplicação

Para sistemas de irrigação por aspersão tipo canhão hidráulico pode-se utilizar a seguinte expressão: (Keller, 1984).

$$EA = CUC * EPA \quad \text{Eq. 13}$$

A eficiência em potencial de irrigação é de capital importância para o Nordeste e para as regiões cuja umidade relativa é muito baixa. Segundo Bernardo (1995) ela pode ser determinada pela seguinte equação:

$$EPA = \frac{\bar{H}}{H_m} \times 100 \quad \text{Eq. 14}$$

Onde:

$\bar{H}$ , lâmina média coletada ponderada (mm);  $H_m$ , lâmina média aplicada (mm);

A lâmina média aplicada pode ser assim calculada:

$$H_m = \frac{Q.T}{10.A} \quad \text{Eq. 15}$$

Onde:

Q, vazão do pivô central em  $m^3/h$ ; T, tempo gasto por rotação em h; A, área total irrigada, em ha.

Merriam et al. (1973), sugeriram a seguinte expressão para estimar a eficiência em potencial de irrigação em aspersores tipo canhão hidráulico:

$$EPA = \frac{\bar{H}_{25\%}}{Hm} \times 100 \quad \text{Eq. 16}$$

Onde:

$\bar{H}_{25\%}$  é lâmina média entre as 25% menores coletadas (mm);  $Hm$ , lâmina teórica aplicada (mm).

A lâmina média teórica aplicada pode ser assim calculada:

$$Hm = \frac{q_0 t 3600}{S_1 S_2} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde:

$q_0$ , vazão do canhão (l/s);  $t$ , tempo de duração do ensaio (h);  $S_1$ , espaçamento entre posições do aspersores na lateral;  $S_2$ , espaçamento entre linhas laterais (m)

### 3.7 - Eficiência de distribuição

A eficiência de distribuição mede a água armazenada na profundidade efetiva do sistema radicular em relação a água infiltrada, o qual dá uma estimativa das perdas de água por percolação profunda. É descritas por Frizone (1992) como:

$$ED = \frac{Y_s}{Y_m} \times 100 \quad \text{Eq. 18}$$

Onde:

$Y_s$ , lâmina média de água armazenada no solo em disponibilidade para as plantas, que corresponde a toda lâmina menor ou igual a lâmina requerida pela cultura;  $Y_m$ , Lâmina média de água coletada (infiltrada).

Os valores de ED para o canhão hidráulico foram retirados da Tabela 12, proposta por (Keller & Bliesner, 1990).

### 3.8 - Eficiência de Armazenamento

Este parâmetro define a fração da lâmina de água necessária para suprir o déficit, que se encontra armazenada na zona das raízes. É descrita por Frizzone (1992) como:

$$ES = \frac{Y_s}{Y_r} \times 100 \quad \text{Eq. 19}$$

Onde:

$Y_r$ , lâmina de água total necessária para suprir o déficit hídrico

Para o pivô central a lâmina de água líquida necessária para suprir o déficit hídrico foi obtida através da evapotranspiração da cultura (em mm/dia) e foi determinada a partir do tanque classe "A" através da equação:

$$ETP_c = K_t \times E_v \times K_c \quad \text{Eq. 20}$$

Onde:

$K_t$ , Coeficiente do tanque Classe A, que em função dos dados meteorológicos da região e do meio em que foi instalado o tanque o valor estimado foi 0,7;  $E_v$ , Evaporação média do tanque em mm/dia;  $K_c$ , Coeficiente de cultivo cujo valor para a cultura do capim é igual a 1.

Para o sistema canhão hidráulico a lâmina real de água total necessária para suprir o déficit hídrico ( $Y_r$ ), foi determinada em função da capacidade de armazenamento do solo e foi definido a partir da equação proposta por (Bernardo, 1995):

$$L_r = \frac{(CC - PMP) * Da * Z * f}{100} \quad \text{Eq. 21}$$

Onde:

CC capacidade de campo, % em peso; PMP, ponto de murchamento, % em peso;  $D_a$ , densidade aparente do solo, em  $\text{g/cm}^3$ ; Z, profundidade efetiva do sistema radicular, em mm; f, fator de depleção de água.

### 3.9. – Perda por Percolação, Evaporação e Arrastamento pelo vento

Perda por Percolação é a razão entre a quantidade de água percolada abaixo do sistema radicular e a quantidade total aplicada. Pode ser determinada a partir da expressão proposta por (Frizone, 1992):

$$PP = 100 - ED \quad \text{Eq. 22}$$

As perdas por evaporação e arrastamento pelo vento podem ser determinadas pela seguinte expressão: (Alves e Castro, 1996).

$$PEV = 100 - EPA \quad \text{Eq. 23}$$

### 3.10 – Avaliação do Dimensionamento do Pivô central

Para o dimensionamento hidráulico do pivô central foi utilizado o programa computacional DIMPIVÔ desenvolvido por Andrade Júnior et al. (1996). Os dados de vazão e pressão obtidos do programa DIMPIVÔ foram comparados com os obtidos em campo. O DIMPIVÔ também calculou a lâmina média aplicada, o coeficiente de uniformidade de distribuição, a eficiência potencial de aplicação, a eficiência de aplicação e as perdas por percolação.

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 - Sistema Pivô Central

#### 4.1.1. – Precipitação

Durante os ensaios determinou-se três pressões no ponto central do pivô, sendo que a maior 300kPa foi superior 17% do que a menor 250kPa. A vazão diferente para cada ensaio, em decorrência da variação de pressão, proporcionou as variações nas precipitações conforme mostra a Figura 5. Observa-se que esta variação de pressão provoca variação de vazão e conseqüentemente desuniformidade na aplicação de água. Assis (1990), afirma que quando o pivô central trabalha com regulador de pressão, quem influencia a uniformidade é a pressão do bocal e a velocidade de operação do sistema e não a pressão no ponto do pivô.

Conforme Tabela 1, descrita por Gilley (1984), a pressão média de 275 kPa está acima da pressão recomendada para sistema pivô central equipados com difusores de 360° de baixa pressão. Há de se considerar que no final da tubulação lateral existe um aspersor de impacto que exige uma pressão adicional para o seu funcionamento. A precipitação máxima que foi 14 mm/h, ocorreu a uma distância de 25m do ponto do pivô, no ensaio cuja pressão no emissor era de 130kPa se enquadrando perfeitamente dentro dos limites de máxima precipitação

exposto na Tabela 2, que para difusores 360° trabalhando a baixa pressão é de 115 mm/h, conforme Gilley (1984).

Tabela 2 - Máxima aplicação características de cinco tipos de sistemas pivô central (Gilley, 1984).

Tipo de sistemas	Aplicação máxima (mm/h)
Aspersor de impacto com alta pressão	29
Aspersor de impacto com média pressão	41
Aspersor de impacto com baixa pressão	57
Difusores 360° de pequena pressão	115
Difusores 180° de pequena pressão	191

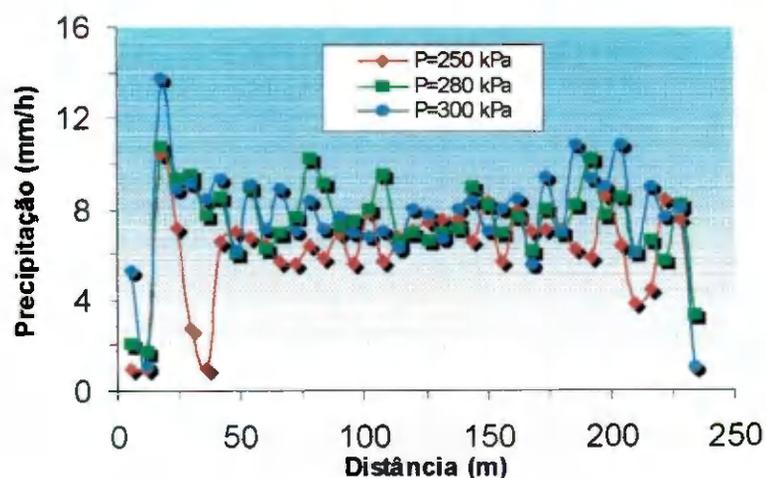


Figura 5 - Precipitação em (mm/h), em função da pressão de serviço (kPa)

#### 4.1.2. – Lâminas médias coletadas

Para os quatro raios estudados, as características física do solo: capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) e as características do manejo da irrigação: conteúdo de água médio antes da irrigação, depleção, lâminas médias coletadas, lâmina necessária em função da evapotranspiração potencial da cultura, estão expostas na Tabela 3.

Tabela 3 - Características físicas do solo e do manejo da irrigação

Raios	Umidade média (%)	CC (%)	PMP (%)	Depleção (%)	Lâminas (mm)	
					Coletada	Necessária
S	13,0	18,0	8,0	50	6,8	7,9
N	16,0	30,0	14,0	88	7,1	7,9
L	15,0	30,0	14,0	94	5,3	7,9
W	12,0	18,0	8,0	60	5,5	7,9

Os conteúdos de água médio obtidos antes das irrigações variam ao longo do pivô para os diferentes tipos de texturas de solo encontradas. Nas áreas dos raios N e L, os conteúdos de água determinados estão bem abaixo da capacidade de campo (CC) e com altos valores de depleção, 88 e 94% respectivamente, enquanto que para os raios S e W os valores de depleção estão compatíveis com as culturas forrageiras, conforme Bernardo (1995).

Considerando a lâmina necessária como sendo igual a evapotranspiração média da cultura, que para as condições do ensaio foi de 7,9 mm, observa-se que a irrigação, em todos os quatros raios do pivô central, é deficiente, pois a lâmina aplicada, que é considerada igual a lâmina infiltrada é inferior a necessária.

Mesmo sendo considerado a percolação profunda de água desprezível, o pivô não estaria aplicando a lâmina necessária em quase nenhum ponto da área irrigada com percentual máximo de 90% no raio N, e mínimo de 65% no raio W. Isto implica em déficit hídrico para a cultura, ocasionando perdas consideráveis na sua produção. As causas desta aplicação deficitária pode ser a velocidade de deslocamento do equipamento, já que está trabalhando com apenas 30% da sua velocidade máxima, proporcionando assim um tempo de irrigação inadequado.

As figuras 6, 7, 8, 9 e 10 mostram os valores das lâminas médias coletadas por raio e a média das lâminas dos quatro raios simultaneamente. Estes perfis de distribuição mostram os possíveis pontos ao longo do pivô de melhor e pior uniformidade de distribuição.

As figuras 6, e 7 mostram visualmente que as lâminas distribuídas sobre a superfície do solo nos raios S e N apresentam uma melhor uniformidade, visto que apresentam uma menor oscilação da curva que as das figuras 8 e 9, irrigadas com os raios L e W. Isto representa uma melhor distribuição da água nestes setores da área. Esta uniformidade se apresenta mais acentuada a partir dos 25 m de distância do centro do pivô para todos os perfis, caindo a partir dos 200 m.

Estes valores dão um melhor entendimento sobre a parte da área onde está ocorrendo escassez de água e excesso da mesma. A análise dos mesmos, nos permite afirmar através da caracterização do aparecimento de pontos máximos de precipitação o qual estaria indicando um possível vazamento ou mal funcionamento de algum aspersor no intervalo onde se encontram os pontos, podendo ainda indicar que algum aspersor está utilizando bocal não adequado. A presença de pontos mínimos indica também alguma anormalidade neste intervalo, como aspersores entupidos ou não adequados.

Na Figura 10 observa-se, que em média, a lâmina coletada só é maior do que a lâmina necessária a uma distância de 20m do início do pivô central. Observa-se também que as lâminas aplicadas pelos raios L e W, influenciaram na média das precipitações, nos primeiros 50m a partir do ponto pivô.

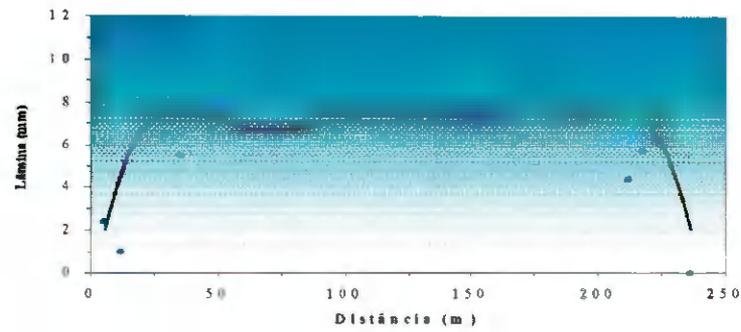


Figura 6 - Lâminas Coletadas no Raio S (mm )

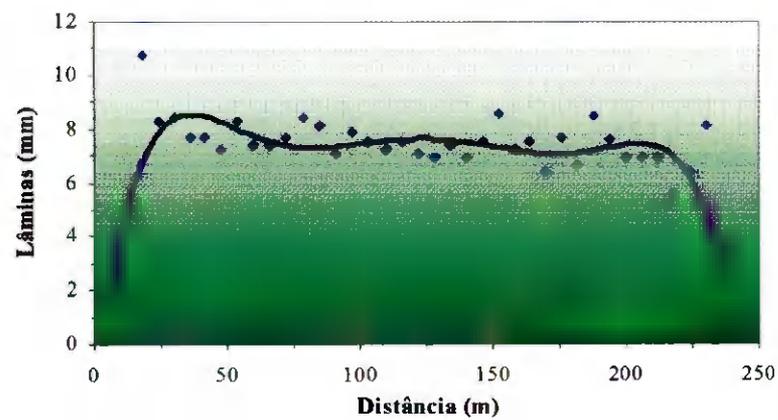


Figura 7 - Lâminas Coletadas no Raio N (mm )

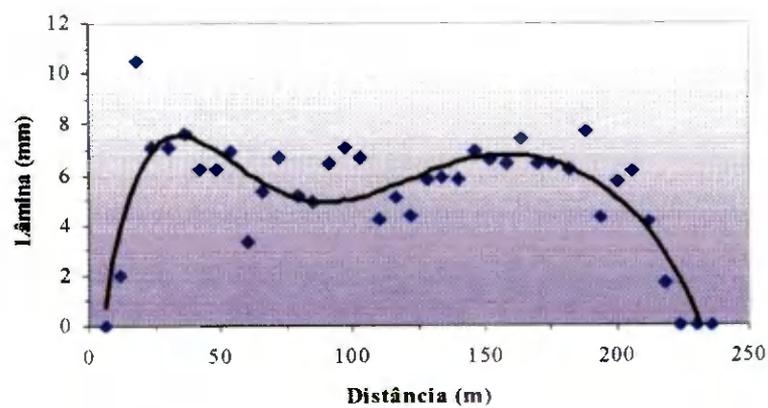


Figura 8 - Lâminas coletadas no Raio L (mm )

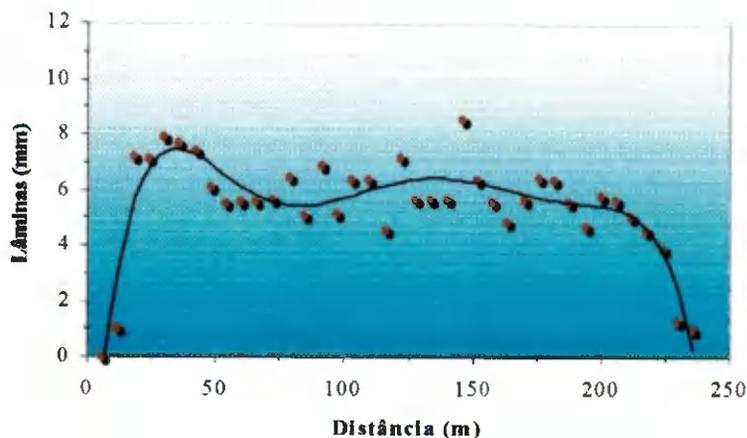


Figura 9 - Lâminas coletadas no raio W (mm).

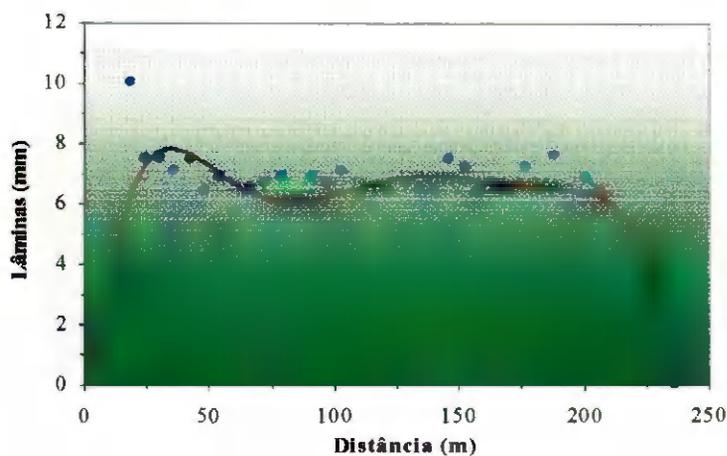


Figura 10 - Lâminas coletadas com a média dos raios adotados (mm)

A figura 11 apresenta as linhas de iguais intensidade de precipitação (isoietas). Verifica-se que, a uniformidade de distribuição em toda área de aplicação é melhor visualizada por este gráfico. O grau de proximidade das linhas das isoietas indicam a variação de precipitação, ou seja, onde as linhas estão mais próximas significa uma maior desuniformidade, e vice-versa. Observa-se, que os pontos extremos e próximos ao ponto pivô, apresentam uma grande variação de precipitação, com valores altos próximo ao ponto pivô e baixos na extremidade, e que, no intervalo entre 50 e 200m, acontece uma boa distribuição da

água, na superfície do solo, onde a lâmina aplicada não apresenta grande variação ao longo dessa extensão.

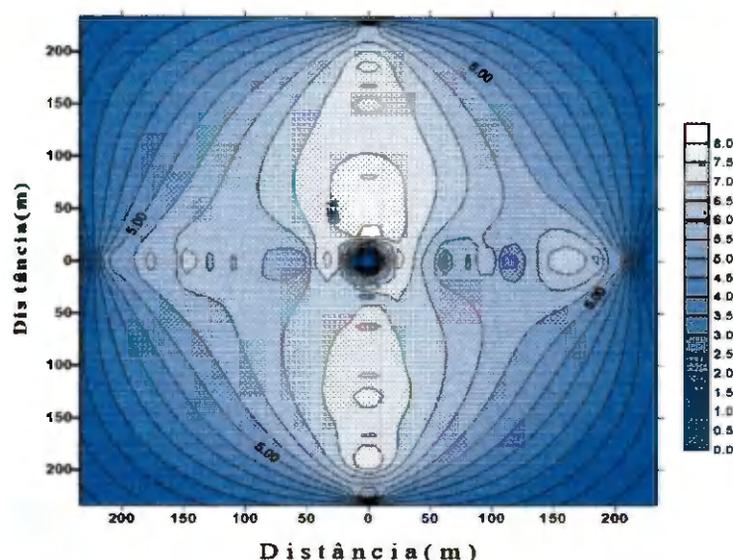


Figura 11 - Isoietas de precipitação (mm), para o pivô central

#### 4.1.3. - Uniformidade de aplicação de água.

A Tabela 4 mostra os resultados dos coeficientes de uniformidade para os quatro raios individualmente e para a média dos valores das precipitações consideradas simultaneamente, conforme as quatro metodologias propostas: Christiansen, modificado por Heermanm & Hein (1968), USDA (1968), Marek et al. (1986) e Bremond & Molle (1995).

Analisando-se individualmente cada raio, observa-se que em todos os coeficientes estudados o raio N foi o que apresentou os maiores valores. Os piores valores foram encontrados no raio L, conseqüentemente as plantas localizada nesta faixa do pivô central sofreram os efeitos de déficit ou de excesso de água. De modo geral, os valores dos coeficientes de uniformidade por raios individuais foram menor do que os calculados com a

média das precipitações dos quatro raios simultaneamente. Essa tendência também foi detectada por Soares et al (1992). Por exemplo o valor médio do CUC por raio foi de 74,5%, enquanto que o CUC foi de 79% quando calculado pela precipitação média dos quatro raios. Por isso a importância de se calcular raio por raio, para verificar os pontos de baixa uniformidade.

Tabela 4 - Coeficientes de uniformidade, em cada raio e com os 4 raios simultâneos.

Coeficientes (%)	RAIO S	RAIO N	RAIO L	RAIO W	Média dos quatro Raios Simultâneos
CUC	82	84	59	73	79
CUD	65	61	38	51	63
CUV	75	78	57	68	74
CUS	94	95	90	93	94

Considerando os quatro raios simultâneos, somente o valor do coeficientes CUS (94%) apresenta-se dentro da faixa de valores encontrados em equipamentos bem projetados e funcionando adequadamente. Os demais coeficientes estão abaixo dos valores mínimos aceitáveis.

É normal o valor do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) apresentar valores inferiores aos demais porque no seu cálculo considera-se a lâmina média ponderada de 25% da área total que recebeu as menores precipitações. Soares et al (1992), analisando um sistema pivô central, trabalhando com aspersores de baixa pressão, encontraram valores médios de 63% para o CUC e 53,6% para o CUD. Pessoa & Folegatti (1995) analisando o desempenho de um sistema pivô central, com diferentes configuração de emissores,

encontraram valores médios de 88,4% para o CUC e 84,6% para o CUS, quando utilizou-se difusores fixos.

Valores típicos de coeficiente de uniformidade para pivô central bem dimensionados com aspersores tipo difusores estão no intervalo de 91 a 95 % (Keller & Bliesner, 1990). Para caso de plantas forrageiras Merrian (1973) e Bernardo (1995), recomendam valores coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUC) maior que 88%. Já Abo-Ghobar (1992), diz que são considerados inaceitáveis valores de CUD menores que 67 % e de CUC menores de 75 %.

O valor do CUV (74%) foi menor do que o CUC (79%). Bremond & Molle (1995), especificam que CUV é um coeficiente calculado a partir do quadrado das diferenças da média e é mais sensível a valores extremos de precipitação do que o CUC e o CUS. Rodrigues et al (1997), testando diferentes coeficientes de uniformidade, verificaram que o CUC foi um dos menos sensíveis às mudanças dos fatores operacionais.

#### 4.1.4. – Índices de eficiência e perda por percolação

A Tabela 5 mostra os resultados dos índices de eficiência e a perda por percolação (PP) analisados no trabalho, para os quatro raios individualmente e para a média dos valores das precipitações consideradas simultaneamente. Analisou-se a Eficiência Potencial de Aplicação (EPA), a Eficiência de distribuição (ED), a Eficiência de Aplicação (EA) e a Eficiência de Armazenamento (ES).

Os valores da eficiência potencial de aplicação mostram percentuais aceitáveis dentro do limite proposto pela maioria das bibliografias consultadas, para os raios S, N e para a média dos valores de precipitação considerados simultaneamente. Já o raio L apresentou o menor valor de eficiência potencial de aplicação, provavelmente devido a influência de

fatores climáticos como o vento e a sua direção. Santos citado por Bernardo (1995), analisando um sistema pivô central, trabalhando com aspersores de baixa pressão, encontrou EPA igual a 81%. Frizzone (1992) analisando dados de avaliação feita por técnicos do IPT de São Paulo em pivô central no município de Guaíra, encontrou valor de EPA igual a 98%. Pessoa & Folegatti (1995) analisando o desempenho de um sistema pivô central, com diferentes configuração de emissores, encontraram o valor médio de 88% para o EPA, quando utilizou-se difusores fixos.

Tabela 5 - Índices de eficiência e perda por percolação, em cada raio e com os 4 raios simultâneos.

Índices (%)	RAIO S	RAIO N	RAIO L	RAIO W	Média dos quatro Raios Simultâneos
EPA	86	88	61	66	75
ED	93	95	99	98	99
EA	80	84	61	65	75
ES	81	84	61	65	75
PP	7	5	1	2	1

Os valores de eficiência de distribuição de água encontrados, tanto para os raios individuais como para a média das precipitações, foram todos acima de 90%. Deve-se os altos valores encontrados ao fato de que as lâminas médias coletadas em todos os raios serem inferiores a necessária. Como em média a lâmina coletada é menor do que a lâmina necessária, as perdas por percolação são baixas tanto para os raios individuais como para a média das precipitações. A menor perda 1% ocorreu no raio L, justamente o que em média precipitou menos. Frizzone (1992) analisando dados de avaliação feita por técnicos do IPT

de São Paulo em pivô central no município de Guaira, encontrou valor de ED igual a 88% e perdas por percolação de 12%.

Como a eficiência da aplicação (EA) é diretamente proporcional a EPA e a ED o resultado seguiu a tendência da eficiência potencial de aplicação, ou seja os maiores valores foram encontrados no raio N e os menores no raio L. O valor da eficiência de aplicação de 75%, encontrado para a média dos valores de precipitação considerados simultaneamente, é considerado razoável para este tipo de sistema de irrigação. Frizzone (1992) analisando dados de avaliação feita por técnicos do IPT de São Paulo em pivô central no município de Guaira, encontrou valor de EA igual a 87%. Segundo Bernardo (1995), nos poucos trabalhos realizados a respeito da eficiência de aplicação (EA) em pivô central, os valores encontrados tem variado entre 70 e 90%. Sendo o valor de 80% possível de ser conseguido sob condições normais de dimensionamento e manejo.

#### 4.1.4 – Influência dos fatores climáticos no desempenho do pivô central

A influência dos fatores climáticos (velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar) registrados nos ensaios, no coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), na eficiência em potencial de aplicação (EPA) e no somatório das perdas por evaporação e arrastamento pelo vento para os quatro raios estudados individualmente é mostrada na Tabela 6.

Observa-se que a maior velocidade do vento foi registrada no raio L, ponto onde detectado os menores coeficientes de uniformidade e eficiência potencial de aplicação e maiores perdas. Analisando as perdas de água, observã-se que estas variaram de 16 a 39% do volume aplicado, com a variação de umidade relativa média entre 62 e 68%, da temperatura de 28 a 32°C e da velocidade do vento entre 7,2 e 10,8 Km/h. Paz (1990) encontrou valores

agrupados de perdas por evaporação e arrastamento pelo vento de até 43% do volume aplicado, afirmando que o vento foi o fator que mais influenciou nestas perdas seguido da umidade relativa do ar. De acordo com Lopez (1975), o vento é o fator climático que produz maiores variações na uniformidade de aplicação de água, quanto maior for sua velocidade menor coeficiente de uniformidade. Segundo Assis (1990) elevadas velocidades de vento, associadas à pressão de serviço dos bocais superior a recomendada, provocam baixos valores do coeficiente de uniformidade em alguns raios, devido a redução da superposição do jato pulverizado.

Tabela 6 - Influência dos fatores climáticos na área irrigada pelo pivô central

Fatores	RAIO S	RAIO N	RAIO L	RAIO W
Vento (Km/h)	7,2	7,2	10,8	7,2
Temperatura (°C)	28	32	28	32
Umidade relativa (%)	62	68	65	62
CUC (%)	82	84	59	73
EPA (%)	80	84	61	65
Perdas (%)	20	16	39	35

A metodologia que analisa as condições de irrigação para o pivô central, em termos parcelados de área, considerando os quatro raios isoladamente, demonstra ser importante pois mostra que os problemas acontecidos na propriedade, com relação a irrigação, não pode ser tratado como um todo e sim por setores de área onde acontece a influência negativa de fatores climáticos ou outros problemas como entupimento de bocais, topografia do terreno, etc.

#### 4.1.5 – Desempenho do pivô central utilizando-se o DIMPIVO

A Tabela 7 mostra o resultado dos valores de coeficientes de uniformidade de aplicação, de eficiência de irrigação e das perdas por percolação, através de dois modelos de cálculo obtidos simultaneamente com a precipitação dos quatro raios do pivô. O modelo I foi com a utilização do programa computacional DIMPIVO (1996), já o modelo II, utilizou-se do coeficiente de uniformidade proposto por Christiansen e modificado por Heermann & Hein (1968) e do coeficiente de uniformidade proposto pela USDA (1968), segundo metodologia descrita por Bernardo (1995), bem como foi utilizado as equações de eficiência descritas por Frizzone (1992).

Tabela 7 - Parâmetros de avaliação do desempenho do pivô central determinados pelo DIMPIVO e pelas equações

Modelos	Lmp (mm)	CUC (%)	CUD (%)	EPA(%)	EA(%)	PP(%)
(I) DIMPIVO	5,7	81	61	73	73	2
(II) Equações	5,9	79	63	75	75	1

Observa-se que os valores encontrados tanto pelo DIMPIVO como pelas equações são muito próximos. Deste modo, pela facilidade de uso e pela precisão do programa computacional DIMPIVO, o mesmo pode ser utilizado para avaliar o desempenho do sistema pivô central.

Através do Programa DIMPIVO calculou-se alguns parâmetros de dimensionamento do pivô central, procurando relacionar com os valores obtidos durante a execução do experimento. Estes resultados se encontram na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores dimensionados através do programa DIMPIVÔ e valores de campo obtidos durante a realização dos ensaios.

Emissores	Valores dimensionados		Valores de campo		Diferença (%)	
	Pressão (kPa)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Pressão (kPa)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Pressão	Vazão
1	140	0,133	-----	-----	----	
7	140	0,133	130	0,126	7	5
14	140	0,241	125	0,173	11	28
21	140	0,378	120	0,263	14	46
28	140	0,486	100	0,317	29	35
35	140	0,608	100	0,421	29	31
42	140	0,742	100	0,464	29	37
49	140	0,814	100	0,482	29	41
56	140	0,968	100	0,666	29	31
63	140	1,051	100	0,742	29	29
70	140	1,138	100	0,853	29	31
77	140	1,321	100	0,911	29	31
84	140	1,415	100	0,986	29	30
91	140	1,516	100	1,051	29	31
96	140	1,620	100	1,166	29	28

Observa-se que os valores de pressão medidos e conseqüentemente as vazões coletadas em campo no pivô central são menores do que os valores dimensionados pelo programa computacional DIMPIVO. Em média as vazões calculadas são superiores em 29% as coletadas em campo. Valores extremos de vazão como a coletada no emissor 21 deve-se a

defeitos do difusor. Observa-se também que apenas a vazão coletada no emissor 7 está próximo da recomendada pelo DIMPIVO. Como os dados de dimensionamento do projeto não estão disponíveis, esta variação pode ser atribuída ao fato de ter sido utilizado um menor valor da evapotranspiração quando do dimensionamento, em relação a usada neste trabalho.

Conforme o DIMPIVO o sistema deveria ser dimensionado com reguladores de pressão de modo que os aspersores funcionassem com pressões de 140 kPa, e na realidade se encontram com pressões variando de 130 a 100 kPa, podendo ser explicada pelo mesmo motivo de ter sido utilizado uma menor evapotranspiração e conseqüentemente menor vazão.

Apesar do sistema está funcionando com reguladores de pressão e acontecer uma variação de pressão, pode ser atribuída ao fato destes reguladores estarem sobrecarregados devido a alta pressão exercida sobre eles no início da tubulação, pois os reguladores possuem limites de regulagens. Pelos valores encontrados na Tabela 8, fica comprovado o que foi exposto pois as variações de pressão acontecem nos primeiros emissores, influenciando diretamente na vazão aplicada e conseqüentemente na uniformidade de distribuição neste setor da área irrigada.

O maior problema para o pivô é que apresenta pressão elevada no início da tubulação, em média 275 kPa e no entanto a área não está sendo irrigada eficientemente, ou seja, o volume de água aplicado não está satisfazendo o déficit hídrico da cultura. Problema este que deve está sendo provocado pelo mal dimensionamento dos aspersores distribuídos ao longo da tubulação principal visto que a pressão no ponto pivô não influencia na uniformidade e sim a pressão nos bocais.

## **4.2 – Sistema Canhão Hidráulico**

### **4.2.1 – Pressão e vazão determinadas em campo**

Os parâmetros do canhão hidráulico coletados durante o ensaio de campo estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros determinados em campo para o aspersor Plona – PLN 25, com bocais de 14x6mm e altura do tubo de elevação 0,5m.

Parâmetros	
Pressão de serviço ( kPa )	270,0
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	14,40
Coefficiente de descarga	0,95
Velocidade angular (rpm)	0,20
Índice de pulverização	0,51
Índice de eficiência	0,96
Velocidade do vento (Km/h)	11,00

A pressão de serviço média determinada em campo 270 kPa, foi inferior em 10% da pressão mínima recomendada pelo fabricante que é de 300 e máxima de 500 kPa. Para a combinação de diâmetros 14 x 6mm com pressão de 300 kPa o catálogo do fabricante fornece valor de vazão de 15,2 m<sup>3</sup>/h enquanto que a coletada em campo foi de 14,4 m<sup>3</sup>/h em consequência da menor pressão de trabalho.

Para o giro completo de 180° o valor médio de 0,2 rpm é considerado baixo, já que o aspersor leva 5 minutos para dar um giro em torno do seu eixo. Raposo (1980) diz que um aspersor funcionando normalmente faz uma rotação em torno do seu eixo no intervalo de 45 segundos a 3 minutos.

O coeficiente de descarga 0,95 se enquadra dentro dos limites 0,85 a 0,95 recomendado por Raposo (1980). Segundo classificação descrita por Gomes (1994) o grau de pulverização 0,51 bem como o alto índice de eficiência 96% caracteriza a gota de água aspergida pelo aspersor como grossa, no entanto não é limitação para o tipo de solo que é franco argiloso nem para as culturas forrageiras instaladas em campo.

Através da Figura 12, onde apresenta as isoietas de precipitação para o aspersor canhão, funcionando isoladamente, observa-se que o direcionamento do vento provocou um deslocamento da água distribuída na superfície do solo, concentrando em uma parte da área. Keller & Bliesner (1990) dizem que o sistema de aspersão tipo canhão apresenta bom desempenho em condições de baixa a média velocidade de vento. Nota-se que as precipitações possuem formas indefinidas e as alturas de precipitação medidas sobre o solo apresentam isoietas não circunscritas ao eixo do aspersor, isto pode ser provocado pela pressão de funcionamento do canhão hidráulico, pela direção do vento e de sua velocidade, já que o valor médio de 11km/h observada nos ensaios está próximo ao limite de 14 km/h, considerada como elevada para irrigação por aspersão, (Bernardo, 1995).

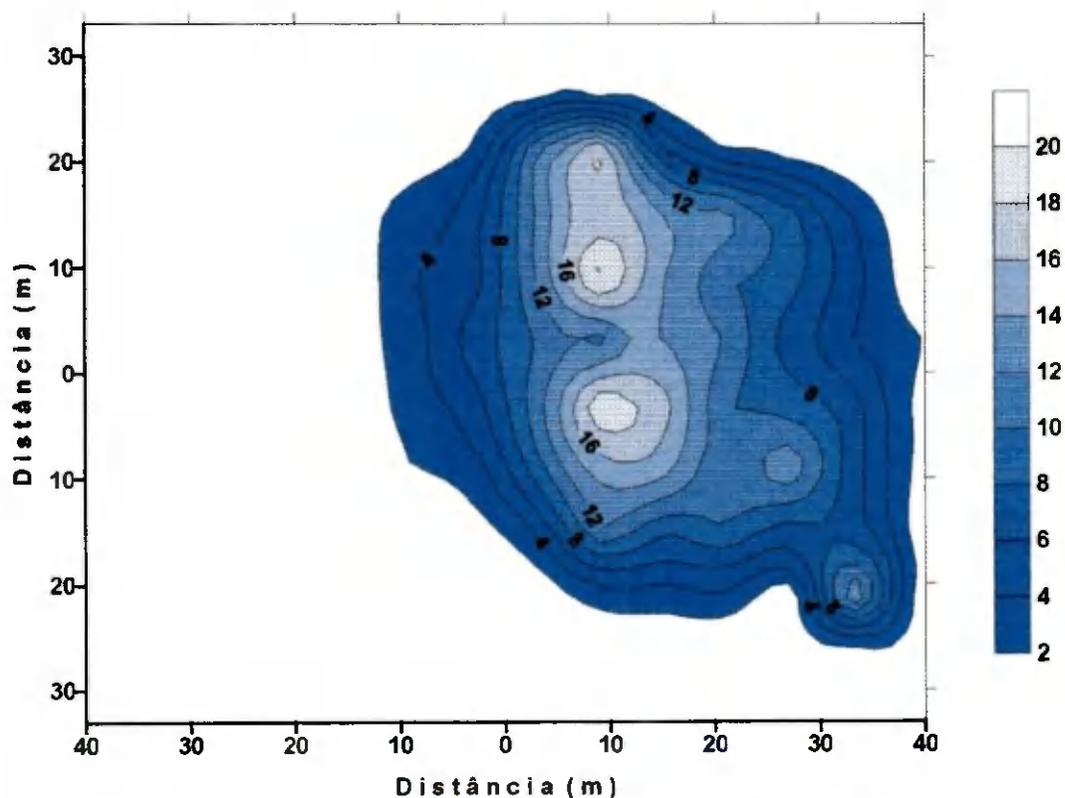


Figura12 - Isoietas das precipitações (mm) para o canhão hidráulico

A Figura 13 mostra o semi - perfil transversal médio das precipitações coletadas a nível de campo. Observa-se que o perfil da precipitação diminui suavemente até a distância de

20m, caindo bruscamente a partir deste ponto. Um aspersor funcionando numa pressão adequado em condições de baixa velocidade de vento, a precipitação coletada diminui a medida que se distancia do eixo do aspersor, porém de forma suave. Nota-se que o raio de alcance médio foi de 30m, o que corresponde a um diâmetro médio de 60m. Para a velocidade de vento média do experimento que foi de aproximadamente 11 Km/h, Bernardo (1995) recomenda espaçamento entre aspersores de 60% do diâmetro de cobertura, o que para o aspersor ensaiado corresponde a um espaçamento máximo entre emissores de 36m, superior ao espaçamento utilizado que foi de 30m.

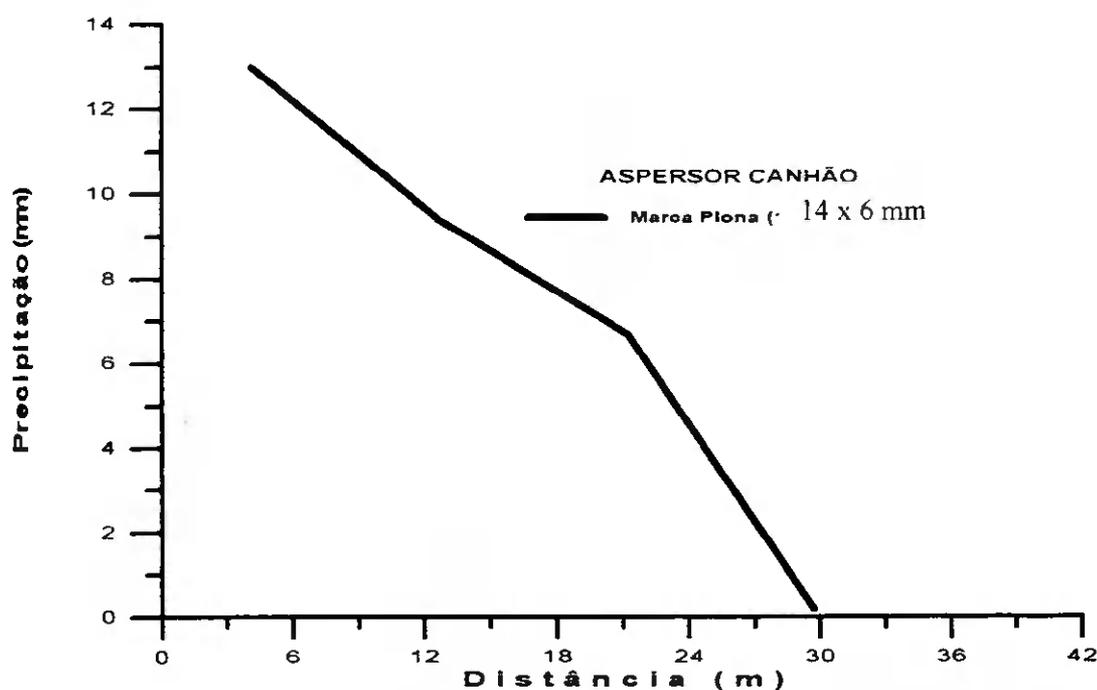


Figura 13 - Semi - perfil transversal médio das precipitações para o canhão hidráulico

O raio de alcance de 30m medido em campo para uma pressão de 270 kPa, está superior aos 28m, fornecidos no catálogo do fabricante para uma pressão de 300 kPa, podendo atribuir-se esta irregularidade ao conjunto dos fatores de velocidade e direção do vento, como os responsáveis por esta irregularidade.

#### 4.2.2 – Uniformidade e Eficiência Potencial de Aplicação

A partir das características físicas do solo: capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e densidade aparente ( $D_a$ ) e das características da planta: profundidade efetiva do sistema radicular ( $Z$ ), e fator de depleção de água do solo ( $f$ ) que para forrageiras é igual a 0,6, calculou-se através da equação 21, a lâmina real (LR) necessária para a cultura em estudo que foi de 34mm.

A relação entre lâmina real necessária e a evapotranspiração da cultura que foi de 7,9mm/dia, calculou-se o turno de irrigação, cujo valor determinado foi de 4 dias. Como o resultado dessa relação não foi um número inteiro, é necessário corrigir-se LR, ou seja, seu valor será determinado pelo produto entre o turno de irrigação e a evapotranspiração da cultura, resultando no valor de 31,6mm.

A partir dos dados de precipitação coletados simulou-se valores de lâminas teoricamente aplicadas (LA), lâminas médias coletadas (LC) e lâminas médias coletadas dos 25% do total dos pluviômetros, com as menores precipitações ( $LC_{25\%}$ ), para o espaçamento usado em campo que foi 30x30m bem como para outras combinações de espaçamento possíveis de serem usadas (Tabela10).

Como a lâmina teoricamente aplicada diminui com o aumento da área irrigada pelo aspersor, as lâminas médias coletadas diminuem também com a área irrigada. Sendo assim a área cuja combinação de espaçamento é 24 x 24m recebeu a maior lâmina (30mm) e a combinação 42x42m a menor (10mm).

A partir da lâmina real necessária de 31,6mm e das lâminas coletadas, elaborou-se a relação do tempo de aplicação (TA) para cada combinação de espaçamento. Sendo assim para o espaçamento que está sendo usado em campo 30x30m, o tempo para aplicar a lâmina necessária é de 1,58h (1:35 h:min).

75% são típicos de aspersores tipo canhão, operando em baixas e em moderadas condições de vento. Merriam et al (1973) afirmam que para culturas forrageiras o valor do CUD é economicamente viável entre 60 e 70% , e que pode-se usar valor de até 50% quando ocorre suplementação regular de chuvas. O espaçamento usado de 30x30m apresenta CUD de 70%, logo é considerado bom, pois se enquadra perfeitamente no intervalo citado acima.

A Tabela 11, mostra que os melhores resultados proporcionados pela simulação encontrou-se no espaçamento 36x36m, o mesmo valor sugerido em função do raio de alcance e velocidade do vento.

Observa-se pela Tabela 11, que uma maneira de se aumentar a uniformidade de distribuição de água é através do  $CUC_{alt}$ , por esta metodologia todos os coeficientes ficariam acima de 80%, ótimo valor para aspersores canhão. No catálogo do fabricante o espaçamento recomendado para o aspersor testado, com seus respectivos bocais (14x6mm), na pressão de 300 kPa é de 36x42m.

Tabela 11 - Parâmetros de uniformidade e de eficiência para vários espaçamentos.

	24x24	24x30	30x30	30x36	36x36	36x42	42x42
CUC (%)	79	78	77	74	78	68	67
$CUC_{alt}$ (%)	88	87	87	86	87	82	82
CUD	67	67	70	69	71	55	30
ED	78	77	76	73	77	66	65
$ED_{alt}$	87	86	86	85	86	81	81
EPA	80	80	74	85	91	67	38
EA	63	62	57	63	71	36	23

Uma maneira de avaliar o CUC é correlacionando-o com a eficiência de distribuição de água (ED), segundo a Tabela 12, apresentada por Keller & Bliesner (1990). De acordo com a Tabela 11, para o espaçamento de 30x30m usado em campo, o valor do CUC é de 77%. Com este valor e considerando para a cultura forrageira uma adequação da irrigação de 80%,

através da Tabela 12, determinou-se que a eficiência de distribuição de água é igual a 76%, ou seja, 80% da área irrigada receberá uma lâmina maior ou igual a 76% da lâmina média aplicada.

Tabela 12 - Valores de eficiência de distribuição de água (%), em função do CUC e da percentagem de área adequadamente irrigada ( Keller & Bliesner, 1990).

Area adequadamente irrigada - %					
CUC	90	80	70	60	50
Eficiência de distribuição de água (ED) -%					
90	84	89	93	97	100
88	81	87	92	96	100
86	78	85	91	96	100
84	74	83	90	95	100
82	71	81	88	94	100
80	68	79	87	94	100
78	65	77	86	93	100
76	61	75	84	92	100
74	58	73	83	92	100
72	55	70	82	91	100
70	52	68	80	91	100
68	49	66	79	90	100
66	45	64	78	89	100

Nos espaçamentos 24x24m até 36x36m os valores de eficiência potencial de aplicação, estão dentro dos limites aceitáveis para aspersores canhão. Alves & Castro (1996)

encontram valores de EPA variando de 84% a 42%, quando a velocidade do vento aumentava de 1,8km/h a 25,2 km/h.

A eficiência de aplicação (EA) reflete as perdas por evaporação, pelo arrastamento pelo vento e a uniformidade de aplicação de água. Como este índice engloba diversos outros índices estudados, a melhor combinação de espaçamento para o sistema de aspersão estudado é 36x36m (EA=71%) e o pior é 42x42m (EA=23%).

As Figuras 14 e 15 mostram os perfis de precipitação para os espaçamentos que proporcionaram a melhor (36 x 36m) e a pior eficiência de aplicação (42 x 42m). Fica evidente que a superfície onde a água se distribui mais homoganeamente é aquela representada pela Figura 14, onde o perfil se mantém quase que completamente uniforme sobre toda superfície do solo. No entanto alguns pontos apresentam valores de precipitação elevados, possivelmente proporcionado pela direção do vento e a baixa pressão de funcionamento do aspersor. No restante da área a distribuição mostra-se regular com pequenas variações obedecendo o critério de uniformidade.

Enquanto que pela Figura 15, observa-se uma constante variação das lâminas de água aplicadas sobre a superfície do solo (2 a 18mm), onde a presença de uma grande variação de valores de precipitação se mostra bem mais clara, evidenciando uma não uniformidade na distribuição da água.

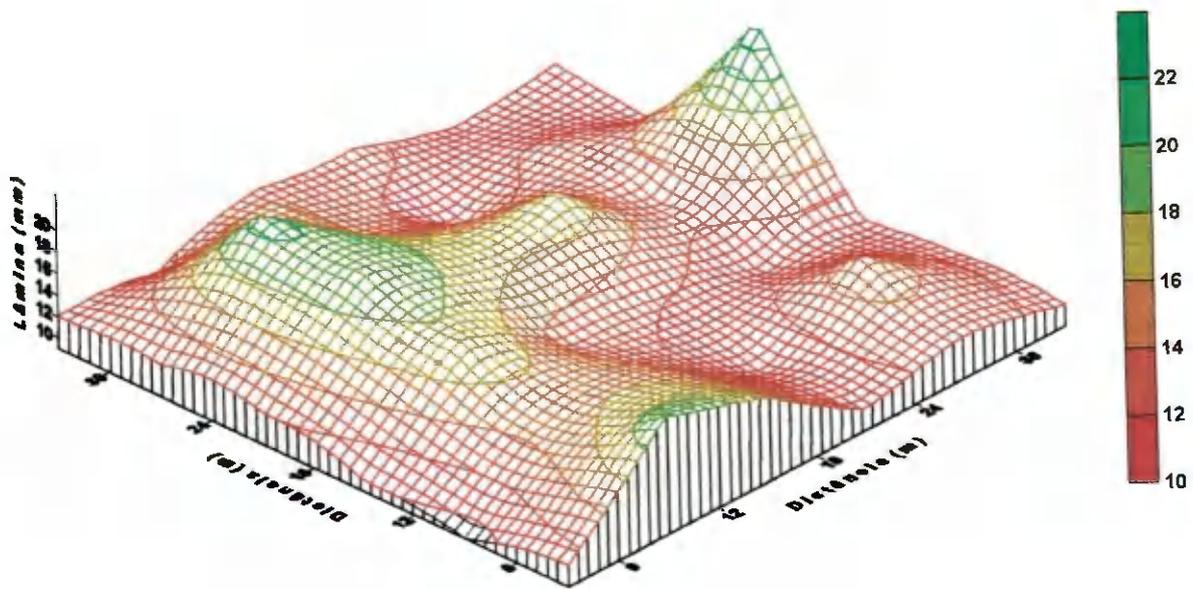


Figura 14 - Perfil de precipitação para o espaçamento de 36x36m

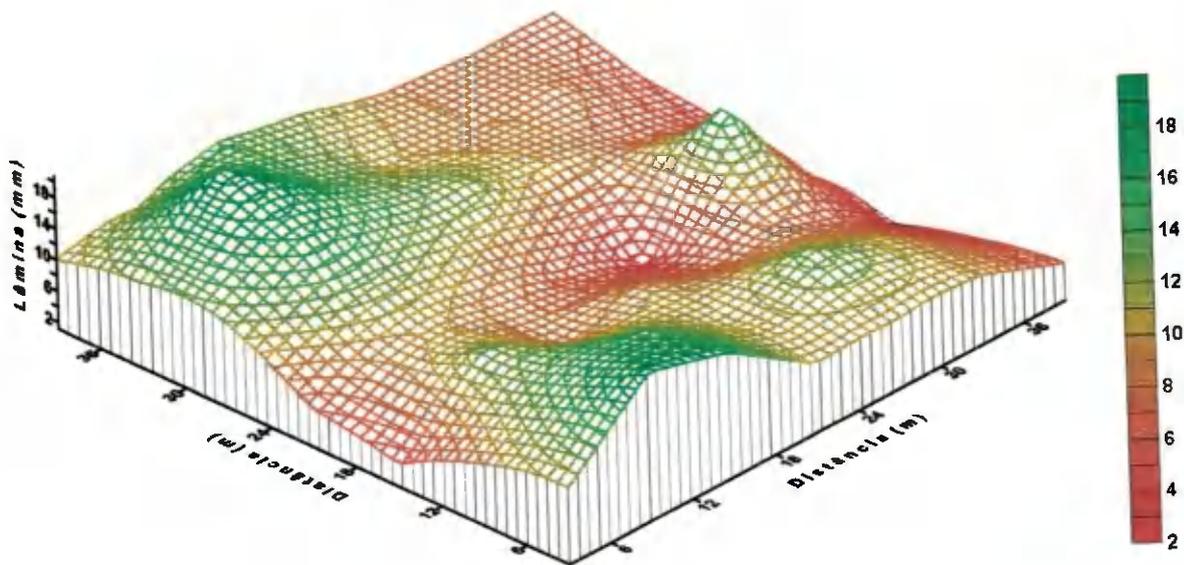


Figura 15 - Perfil de precipitação para o espaçamento de 42x42m

## 5 - CONCLUSÕES

1 - O sistema pivô central mostrou bons resultados quando analisado como um todo, onde apenas o coeficiente de uniformidade de distribuição foi considerado inaceitável, e suas eficiência se enquadram perfeitamente dentro dos padrões adotados.

2 - Verificou-se problemas de uniformidade e de eficiência em alguns setores quando a análise foi feita por raio individualmente, indicando setores com déficit e outros com excesso de água.

3 - A velocidade do vento e sua direção foi o fator climático que mais influenciou, em setores que apresentaram baixos percentuais nos coeficientes de uniformidade.

4 - As lâminas aplicadas mostram incapazes de suprir as necessidades hídricas do capim, pois todas elas determinadas durante todos os ensaios ficaram abaixo dos valores da evapotranspiração potencial da cultura.

5 - No que diz respeito a performance do canhão hidráulico, para o espaçamento utilizado pelo produtor (30 x 30m), apesar de apresentar um valor do coeficiente de uniformidade de Christiansen (77%), considerado como bom, sua eficiência de aplicação de 57% é considerada como baixa.

#### Recomendações:

##### a) Pivô Central

- 1 - Nos ensaios observou-se excesso de água em alguns pontos da área de teste, problema este que seria resolvido com a instalação de drenos nos locais mais propícios ao encharcamento, ou a correta inspeção dos aspersores distribuídos ao longo da linha principal.
- 2 - Para corrigir o problema de pressões abaixo da ideal, calculada no projeto, é importante uma fiscalização por parte de um técnico especializado que passe informações necessárias aos operadores encarregados do manuseio do sistema. Seria viável aumentar o tempo de irrigação diminuindo a velocidade de rotação do pivô e consequentemente aumentando sua lâmina aplicada por setor, se necessário é importante rever os cálculos do dimensionamento do projeto.

##### b) Canhão Hidráulico

- 1 - Mudar o espaçamento para 36 x 36m, que segundo simulação proporcionaria um coeficiente de uniformidade de distribuição de 78% e eficiência de 71%, cujos valores se enquadram dentro dos padrões adotados para projetos de irrigação por aspersão tipo canhão hidráulico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema Irrigação por Aspersão Pivô Central . Caracterização do Desempenho: Projeto 12:02.08- 005.** Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 16p.
- ABO-GHOBAR, H. .M. Losses from low-pressure center-pivot irrigation systems in a desert climate as affected by nozzle height. **Agric. Water Manag.** v.21, p. 23-32, 1992.
- ALVES, A S.; CASTRO, P. T. Desempenho do sistema de irrigação por aspersão tipo canhão hidráulico sob diferentes condições de velocidade do vento na região de Paracuru – CE/Brasil. **Eng. Rural.** v.7, p.17-22, 1996.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; AGUIAR N.A.; BASTOS, E. A. **DIMPIVO – Programa para dimensionamento de sistemas de irrigação pivô central . Manual do Usuário.** Teresina: EMBRAPA, 1996. 19p.
- ASSIS, L.L. **Avaliação de Sistema de irrigação por pivô central de baixa pressão.** Fortaleza: UFC, 1990. 93p. (Dissertação de Mestrado)
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 5 ed. Viçosa: UFV,1995. 596p.
- BREMOND,B.; MOLLE, B. Characterization of rainfall under center pivot: Influence of measuring procedure. **J. Irrig. Drain. Eng.**,v.121, n.5, p.347-353, 1995.

- COELHO, R.D. **Regulagem de aspersores seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas.** Piracicaba: ESALQ, 1990. 141p. (Dissertação de Mestrado)
- FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão. Uniformidade e eficiência.** Piracicaba: ESALQ 1992.52p. (Série Didática, 3)
- FRY, A.W.; GRAY, A. S. **Sprinkler irrigation handbook.** 8 ed. Glendorra: Rain Bird Sprinkler, 1969, 36p.
- GILLEY, J. R. Suitability of reduced pressure center – pivots. **J. Irrig. Drain. Eng.**, v.110, n.1, p.22-34, 1984.
- GILLEY, J.R. ; SUPALLA, R. J. Econommic analysis of energy saving practices in irrigation. **Trans. ASAE. ( Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.26, n.6, p.1784-1792, 1983.
- GOMES, H.P. **Engenharia de irrigação. Hidráulica dos sistemas pressurizados aspersão e gotejamento.** JoãoPessoa: Editora Universitária, 1994. 344p.
- HEERMANN, D.F.; HEIN, P.R. Performane characteristics of self-propeled center-pivot sprinkler irigation systems. **Trans. ASAE. ( Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.11, n.1, p.11-14, 1968.
- LOPEZ, E.M. **Riego por aspersion..** Petrolina: SUDENE / IICA, 33p. 1975.
- MATSURA, E.E. **Eficiência de irrigação e uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por aspersão.** Piracicaba: ESALQ, 1987.124p. (Dissertação de Mestrado).
- MEDEIROS FILHO, J. C. **Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em uma área do município de Mossoró-RN.** Campina Grande: UFPB 1983. 77p. (Dissertação de Mestrado)
- MERRIAM,J.L; KELLER,J; ALFARO, J. **Irrigation system evaluation and Improvement.** Logan: Utah State University, 1973. 167p.

- KELLER, J. **Sprinkler irrigation**. Logan: Utah State University, 1984. 621p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- KINKAID, D.C.; HEERMANN, D.F.; Application rates and runoff in center-pivot sprinkler irrigation. **Trans. ASAE. ( Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.12, n.6, p.790-794, 1969.
- MAREK, T.H.; UNDERSANDER, D.J.; EBELING, L.L. NA aerial weighted uniformity coefficient for centre pivot irrigation systems. **Trans. ASAE. ( Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.29, n.6, p.1665-1667, 1986.
- PAZ, V. P. S. **Perdas de água e uniformidade de distribuição na irrigação por Aspersão**. Viçosa: UFV, 1990. 59p. (Dissertação de Mestrado)
- PESSOA, P.C.S. ; FOLEGATTI, M. V. Desempenho de um sistema pivô central com diferentes configurações de emissores ao longo do ciclo de uma cultura de milho (*Zea Mays*, L). **Eng. Agrícola**, v.15, p.15-33, 1995.
- RAPOSO, J.R. **A rega por aspersão**. Lisboa: Livraria Clássica, 1980. 339p.
- REZENDE,R.; FRIZZONE, J. A; BOTREL, T.B. Desempenho de um sistema de irrigação pivô central quanto á uniformidade de distribuição de água, abaixo e acima da superfície do solo. **Eng. Na Agricultura**, v.2, n.19, p.1-7, 1993.
- RIBEIRO, L.M. **Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear**. Fortaleza: UFC, 1982. 89p (Dissertação de Mestrado.)
- RING,L.; HEERMANN, D.F. **Determining Center – pivot sprinkler uniformities**. St. Joseph: ASAE, 1978. 19p. (ASAE Paper, 78-2001)
- RODRIGUES, L. N.; PIMENTA MELLO, J.L.; MANTOVANI, E.C.; RAMOS, M.M. Coeficientes de uniformidade: Sensibilidade e mudanças nos fatores operacionais. **IRRIGA**, v.2, n.2, p.90-99, 1997.

- SCALOPPI, E.J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. *Inf. Agropec.*, v.12, n.139, p.54-62, 1986.
- SCALOPPI, E.J.; ALLEN, R.G Hidráulics of center- pivot laterais. *J.Irrig.Drain.Eng.*, v.119, n.3, p.554-567, 1993
- SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; LUCATTO JÚNIOR, J.; SCHNEIDER, A. Desempenho e otimização de um sistema de irrigação do tipo pivô central. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, 1992, *Anais...* Santa Maria: UFSM/SBEA, v.2B, p. 836-846.
- SOUZA, F. Modelo computacional para a análise hidráulica de um sistema de irrigação pivô central. *Eng. Rural*, v.5, n.2, p.01-20, 1994.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil Consertion Service. **Sprinkler Irrigation**. Washington, 1968. 82p. (National Irrigation Handbook. Irrigation, 11)
- WILMES, G. J.; MARTIN, D. L.; SUPALLA, R. J. Decision Support System for Design of Center Pivots. *Trans. ASAE. ( Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.37, n.1, p.165-175, 1993

APÉNDICE

Quadro 2. Resultado dos volumes coletados no raio S ( ml ).

Vão entre torres	Número de ordem do coletor	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Volume médio	Volume ponderado	
1	1	8	8	41	19	19	
1	2	5	9	9	8	16	
1	3	82	81	108	90	270	
1	4	57	55	69	60	240	
1	5	21	61	72	51	255	
1	6	6	58	66	43	258	
1	7	51	55	73	60	420	
1	8	55	57	48	53	424	
1	9	53	51	71	58	522	
2	10	50	51	56	52	520	
2	11	45	60	69	58	638	
2	12	44	59	55	53	636	
2	13	50	66	65	60	780	
2	14	46	60	56	54	756	
2	15	54	62	60	59	885	
2	16	44	60	54	53	848	
2	17	62	64	53	60	1020	
2	18	45	66	55	55	990	
3	19	53	49	49	50	950	
3	20	56	62	63	60	1200	
3	21	58	83	61	67	1407	
3	22	59	58	52	56	1252	
3	23	59	67	63	63	1449	
3	24	51	50	65	55	1320	
3	25	65	41	55	54	1350	
3	26	45	64	63	57	1482	
4	27	63	41	66	57	1539	
4	28	55	51	43	50	1400	
4	29	56	64	74	65	1885	
4	30	56	52	55	54	1620	
4	31	49	71	85	68	2108	
4	32	46	52	73	57	1824	
4	33	68	71	70	70	2310	
4	34	50	41	85	59	2006	
Bal	35	30	27	47	35	1225	
Bal	36	35	30	70	45	1620	
Bal	37	66	60	60	62	2294	
Bal	38	59	67	63	63	2394	
Bal	39	0	0	0	0	0	
Total = 780						Total= 42112	

Quadro 3. Resultados dos volumes coletados no raio N (ml).

Vão entre torres	Numero de ordem do coletor	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Volume Médio	Volume ponderado
1	1	9	16	28	18	18
1	2	10	13	5	9	18
1	3	77	84	92	84	252
1	4	62	73	61	65	260
1	5	62	75	62	66	330
1	6	64	61	57	61	366
1	7	62	67	54	61	427
1	8	51	47	72	57	456
1	9	70	70	54	65	585
2	10	52	49	72	58	580
2	11	65	54	54	58	638
2	12	64	60	60	61	732
2	13	73	80	46	66	858
2	14	66	72	53	64	896
2	15	52	57	58	56	840
2	16	59	58	70	62	992
2	17	57	63	57	59	1003
2	18	51	75	44	57	1026
3	19	62	51	63	59	1121
3	20	56	54	59	56	1120
3	21	59	51	52	54	1134
3	22	59	55	61	58	1276
3	23	47	56	62	55	1265
3	24	52	70	56	59	1416
3	25	72	64	68	68	1700
3	26	60	55	55	57	1482
4	27	55	60	61	59	1593
4	28	52	48	50	50	1400
4	29	63	63	57	61	1769
4	30	57	55	44	52	1560
4	31	64	64	72	67	2077
4	32	44	80	55	60	1920
4	33	58	61	42	54	1782
4	34	52	67	43	54	1836
Bal	35	43	47	72	54	1890
Bal	36	48	51	32	44	1584
Bal	37	49	45	55	50	1850
Bal	38	60	64	68	64	2432
Bal	39	0	26	0	9	351
Total = 780					Total = 42835	

Quadro 5. Resultado dos volumes coletados no raio W (ml)

Vão entre torres	Número de ordem do coletor	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Volumes Médios	Volume ponderado
1	1	0	0	0	0	0
1	2	5	10	6	7	14
1	3	49	52	70	57	171
1	4	58	50	60	56	224
1	5	65	59	61	62	310
1	6	61	60	61	61	366
1	7	56	58	60	58	406
1	8	47	49	49	48	384
1	9	46	42	42	43	387
2	10	50	37	46	44	440
2	11	42	40	51	44	484
2	12	43	51	40	45	540
2	13	51	50	51	51	663
2	14	41	40	39	40	560
2	15	56	53	55	55	825
2	16	37	46	40	41	656
2	17	54	41	60	52	884
2	18	55	50	52	52	936
3	19	46	26	35	36	684
3	20	59	60	52	57	1140
3	21	48	40	48	45	945
3	22	47	39	53	45	990
3	23	44	41	49	45	1035
3	24	71	63	70	68	1632
3	25	52	50	53	52	1300
3	26	45	43	45	44	1144
4	27	37	38	41	39	1053
4	28	47	39	49	45	1260
4	29	52	50	52	51	1479
4	30	48	53	50	50	1500
4	31	45	47	40	44	1364
4	32	37	35	38	37	1184
4	33	45	51	43	46	1518
4	34	42	40	52	45	1530
Bal	35	40	39	41	40	1400
Bal	36	36	35	37	36	1296
Bal	37	27	31	29	29	1073
Bal	38	11	10	8	10	380
Bal	39	6	5	2	4	156
Total = 780					Total = 32313	

Quadro 4. Resultado dos volumes coletados no raio L (ml)

Vão entre torres	Número de ordem do coletor	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Volume Médio	Volume ponderado
1	1	0	0	0	0	0
1	2	20	11	16	16	32
1	3	100	52	96	83	249
1	4	55	60	54	56	224
1	5	55	56	56	56	280
1	6	59	62	60	60	360
1	7	47	52	49	49	343
1	8	55	43	45	49	392
1	9	45	61	60	55	495
2	10	42	12	25	26	260
2	11	25	54	48	42	462
2	12	53	55	50	53	636
2	13	49	31	42	41	533
2	14	40	40	38	39	546
2	15	47	52	51	50	750
2	16	56	56	56	56	896
2	17	62	44	52	53	901
2	18	35	34	29	33	594
3	19	37	40	42	40	760
3	20	22	46	38	35	700
3	21	44	47	46	46	966
3	22	44	45	44	44	968
3	23	45	47	47	46	1058
3	24	59	51	52	54	1296
3	25	50	58	49	52	1300
3	26	50	51	50	50	1300
4	27	49	65	60	58	1566
4	28	44	56	55	52	1456
4	29	43	61	52	52	1508
4	30	42	55	51	49	1470
4	31	46	69	69	61	1891
4	32	25	31	45	34	1088
4	33	42	50	42	45	1485
4	34	43	54	48	48	1632
Bal	35	28	34	35	32	1120
Bal	36	14	15	10	13	468
Bal	37	0	0	0	0	0
Bal	38	0	0	0	0	0
Bal	39	0	0	0	0	0
Total = 780					Total= 32313	

Quadro 6. Resultado dos volumes médios coletados nos 4 raios simultaneamente (ml).

Vão entre torres	Numero de ordem do coletor	Linha A	Linha B	Linha C	Linha D	Volume médio	Volume ponderado
1	1	19	18	0	0	9	9
1	2	16	9	16	7	12	24
1	3	90	84	83	57	79	237
1	4	60	65	56	56	59	236
1	5	51	66	56	61	59	295
1	6	43	61	60	61	56	336
1	7	60	61	49	58	59	413
1	8	53	57	49	48	52	416
1	9	58	65	55	43	55	495
2	10	52	58	26	44	45	450
2	11	58	58	42	44	51	561
2	12	53	61	53	45	53	636
2	13	60	66	41	51	55	715
2	14	54	64	39	40	49	686
2	15	59	56	50	55	55	825
2	16	53	62	56	41	53	848
2	17	60	59	53	52	56	952
2	18	55	57	33	52	49	882
3	19	50	59	40	36	46	874
3	20	60	56	35	57	52	1040
3	21	67	54	46	45	53	1113
3	22	56	58	44	45	51	1122
3	23	63	55	46	45	52	1196
3	24	55	59	54	68	59	1416
3	25	54	68	52	52	57	1425
3	26	57	57	50	44	52	1352
4	27	57	59	58	39	53	1431
4	28	50	50	52	45	50	1400
4	29	65	61	52	51	57	1653
4	30	54	52	49	50	51	1530
4	31	68	67	61	44	60	1860
4	32	57	60	34	37	47	1504
4	33	70	54	45	46	54	1782
4	34	59	54	48	45	52	1768
Bal	35	35	54	32	40	40	1400
Bal	36	45	44	13	36	35	1260
Bal	37	62	50	0	29	35	1295
Bal	38	63	64	0	10	34	1292
Bal	39	0	8	0	4	3	117
Total = 780						Total = 36846	

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	8	15	44	50	46	12	6	0	0
0	0	5	24	35	96	131	112	105	74	34	0
0	0	2	31	37	92	163	108	76	68	39	0
0	0	11	26	52	79	86	114	91	57	34	13
0	0	5	26	36	87	156	130	82	73	54	10
0	0	0	18	30	69	115	122	79	107	54	5
0	0	0	2	8	35	92	63	79	59	53	0
0	0	0	0	0	2	26	24	33	0	117	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro7- Dados de precipitação (ml), médias coletados durante os ensaios, realizados com canhão hidráulico.