DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO CANHÃO FINAL EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL

RONALDO SCHENKEL

Engenheiro Agrícola

Orientador : Prof. Dr. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

**Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia. Área de Con-
centração: Irrigação e Drenagem.**

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Janeiro - 1992

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO CANHÃO FINAL EM
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL

RONALDO SCHENKEL

Aprovado em: 27.03.92

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta

ESALQ/USP

Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel

ESALQ/USP

Prof. Dr. Roberto Testezlaf

UNICAMP

PROF. DR. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

Orientador

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Jayme e Ionebe

A minha esposa Eliane

A Sra. Elisa Schioser Sartori

A G R A D E C I M E N T O S

Ao professor Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta pela orientação.

Ao pesquisador Alberto Colombo, pelo apoio, sugestões e orientações.

Ao agricultor Jurandir Milani pela cessão do Pivô Central e ao seu filho Marcos Milani pela ajuda nos testes de campo.

A FABRIMAR S/A Indústria e Comércio pela cessão do canhão final para os testes de campo.

Ao CENEA, pelo desenvolvimento do programa de computador para simulação.

Ao professor Dr. Roberto Testezlaf, pelo incentivo e apoio.

Ao amigo, Ariovaldo Alves pela ajuda na publicação deste trabalho.

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo para a realização do curso.

Aos demais professores, colegas de curso e funcionários do Departamento de Engenharia Rural, que de alguma forma, contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xi
SUMMARY	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Parâmetros numéricos para distribuição de água	4
2.1.1. Interferência do vento	10
2.2. Canhão final	11
2.3. Simulação	15
3. METODOLOGIA	21
3.1. Ensaio estacionário do aspersor canhão	21
3.2. Simulação do aspersor canhão	22
3.2.1. Programa de computador para simula- ção	27
3.3. Ensaio do canhão final operando no Pivô Central	29
3.3.1. Local	29
3.3.2. Características do equipamento	30
3.3.3. Coletores	30
3.3.4. Disposição dos coletores no campo	30

3.3.5. Coleta de dados	31
3.3.5.1. Pressão do canhão	31
3.3.5.2. Velocidade do vento	31
3.3.5.3. Velocidade do Pivô Central	32
3.3.5.4. Ângulo de operação do canhão	32
3.3.5.5. Velocidade de batida do sistema de deslocamento . .	32
3.3.5.6. Volume de água precipitada nos coletores	33
3.4. Cálculo da eficiência de aplicação e efi- ciência de armazenamento	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1. Ensaio estacionário do aspersor canhão . .	36
4.2. Simulação	39
4.3. Ensaio do canhão final operando no Pivô Central	41
4.4. Comparação entre curvas de distribuição de água, simuladas e observadas.	41
4.5. Comparação entre curvas de distribuição de água com regulagem das batidas, lenta e rápida	51
4.6. Comparação entre formas de operação do canhão final através da eficiência de apli- cação e eficiência de armazenamento	54
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
APÊNDICE 1	62
APÊNDICE 2	68
APÊNDICE 3	74

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 - Definição do raio de alcance para determinação da eficiência volumétrica em diferentes sistemas	09
Figura 2 - Esquema do ângulo de operação do canhão final recomendado pela Nelson para o canhão modelo P 100	13
Figura 3 - Diferentes curvas de aplicação para diferentes ângulos e posições em relação a tangente do círculo irrigado de acordo com a Rain Bird Company	13
Figura 4 - Esquema de operação do canhão final mostrando o ângulo de operação recomendado	14
Figura 5 - Curvas das taxas de aplicação do canhão 85 EW	18
Figura 6 - Curvas das taxas de aplicação do canhão 95 E	19
Figura 7 - Curvas das taxas de aplicação do canhão 105 C	19
Figura 8 - Esquema dos elementos utilizados no cálculo da lâmina aplicada pelo canhão final em movimento	23
Figura 9 - Divisão dos quadrantes do canhão e sentido da variação dos ângulos	25
Figura 10 - Resumo do programa de simulação	28
Figura 11 - Ângulos de operação do canhão final, que foram utilizados nos ensaios	29
Figura 12 - Esquema de distribuição dos coletores no ensaio de campo do canhão final.	31

Figura 13 - Definição do raio efetivo de alcance do canhão para o pivô em questão	34
Figura 14 - Definição das áreas para determinação das eficiências de armazenamento e aplicação	35
Figura 15 - Taxas de aplicação de água ao longo do canhão final no ensaio estacionário .	38
Figura 16 - Curvas de distribuição de água (simula- da e observada) do canhão final no Pivô Central, com ângulo de 180° e batida lenta.	43
Figura 17 - Curvas de distribuição de água (simula- da e observada) do canhão final no Pivô Pivô Central, com ângulo de 150° (1) e batida lenta	44
Figura 18 - Curvas de distribuição de água (simula- da e observada) do canhão final no Pivô Central, com ângulo de 90° e batida lenta	45
Figura 19 - Curvas de distribuição de água (simula- da e observada) do canhão final no Pivô Central, com ângulo de 150° (2) e batida lenta	46
Figura 20 - Curvas de distribuição de água (simula- da e observada) do canhão final no Pivô Central, com ângulo de 180° e batida rápida	47
Figura 21 - Curvas de distribuição de água (simula- da e observada) do canhão final no Pivô Central, com ângulo de 150° (1) e ba- tida rápida	48

Figura 22 - Curvas de distribuição de água (simulada e observada) do canhão final no Pivô Central, com ângulo de 90° e batida rápida	49
Figura 23 - Curvas de distribuição de água (Simulada e Observada) do canhão final no Pivô Central, com ângulo de 150° (2) e batida rápida	40
Figura 24 - Comparação entre curvas de distribuição de água para regulagem lenta e rápida para um ângulo de operação de 180° . . .	52
Figura 25 - Comparação entre curvas de distribuição de água para regulagem lenta e rápida para um ângulo de operação de 90° . . .	52
Figura 26 - Comparação entre curvas de distribuição de água para regulagem lenta e rápida para um ângulos de operação de 150° (1) . . .	53
Figura 27 - Comparação entre curvas de distribuição de água para regulagem lenta e rápida para um ângulos de operação de 150° (2) . . .	53
Figura 28 - Curvas de distribuição de água do canhão final com vários ângulos de operação e regulagem rápida	55
Figura 29 - Curvas de distribuição de água do canhão final com vários ângulos de operação e regulagem lenta	56

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Taxa de aplicação de água (mm/hora) ao longo do raio do aspersor canhão . . .	37
Tabela 2 - Lâmina (mm) aplicada ao longo do canhão final operando no Pivô Central (simulação)	40
Tabela 3 - Lâmina (mm) aplicada ao longo do canhão final operando no Pivô Central (observação de campo)	42
Tabela 4 - Eficiência de aplicação e armazenamento (%) para diferentes formas de operação do canhão final para $p = 0,7$	54
Tabela 5 - Eficiência de aplicação e armazenamento (%) para diferentes formas de operação do canhão final para $p = 0,4$	55

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO CANHÃO FINAL EM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL

Autor: RONALDO SCHENKEL

Orientador: PROF. DR. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

RESUMO

O objetivo deste trabalho é de avaliar alguns parâmetros envolvidos na operação de canhão final em sistemas de Pivô Central, de modo a fornecer maiores subsídios na análise de validade do uso destes equipamentos e na escolha da sua melhor condição de operação.

Utilizou-se um programa de computador para simulação da operação do canhão final em um Pivô Central girando a uma determinada velocidade. A partir do programa, obteve-se curvas de distribuição de água ao longo do canhão (Distância x Lâmina) com diferentes formas de operação.

As curvas de distribuição simuladas a partir do programa desenvolvido foram comparadas com curvas experimentais obtidas através de ensaios de campo realizados sob condições variadas de vento. No ensaio com baixa velocidade de vento ($< 3\text{km/h}$), as curvas tiveram valores próximos. Nos ensaios em que a velocidade do vento teve valores significativos ($> 3\text{km/h}$), as curvas

experimentais tiveram um comportamento influenciado pela ação do mesmo, diminuindo ou aumentando os raios irrigados e aumentando ou diminuindo as lâminas aplicadas em cada ponto em relação aos valores simulados.

Em função dos resultados e comparações entre curvas de distribuição, observamos que, em boas condições de vento, as curvas obtidas através da simulação podem ser utilizadas pelos projetistas com um bom grau de segurança. A partir destas curvas pode-se chegar a uma melhor maneira de operação para obtenção de uma distribuição de água condizente com a do restante do sistema.

Para o caso do canhão 1S-RL da FABRIMAR, operando com um bocal de 17,8mm e uma pressão de 460 KPa, os ângulos de operação de $90^{\circ} + 60^{\circ}$ e $90^{\circ} + 45^{\circ}$ é que apresentaram curvas de distribuição mais uniformes e maiores valores de eficiência de aplicação e armazenamento. A velocidade de batida do sistema de giro do canhão, não afetou o perfil de aplicação do mesmo.

WATER DISTRIBUTION BY END GUN OF CENTER PIVOT IRRIGATION SYSTEM

Author: RONALDO SCHENKEL

Adviser: PROF. DR. ANTONIO FERNANDO LORDELO OLITTA

SUMMARY

The objective of this study is to evaluate some parameters involved in end gun operation of center pivot system. Through the results is possible to give more informations to engineers designers to analyse the validity of end gun utilization and to find the best operation condition in each system.

A computer program was developed to simulate the end gun operation for different rotation velocities and to create the distribution water curves for different operation conditions. The simulated distribution data were compared with field experimental data obtained from fields trails realized with varied wind conditions.

The results of field trials with low wind velocity ($< 3\text{km/h}$) showed that the experimental and simulated curves had both the same behaviour. However, in field trials with significant wind velocity ($> 3\text{km/h}$) the difference between those curves were completely explained by the wind action.

The conclusions demonstrated that the computer program can be a reliable instrument to designers when the center pivot systems operate under low wind conditions (<3 km/h). In this case, the curves obtained can show the best performance condition.

In this study it was evaluated the operation of the end gun model 1S-RL, with a 17.8mm nozzle diameter and 480 KPa working pressure from FABRIMAR M.F.G. The results showed that the best uniform distribution curves and the highest application and storage coefficients were found when this sprinkler operated with operation angles of $90^{\circ} + 80^{\circ}$ e $90^{\circ} + 45^{\circ}$. Another conclusion is that the frequency of the sprinkler rotation systems of the end gun did not affected significantly the distribution curves.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o avanço da tecnologia aplicada à irrigação permite que um único homem possa controlar centenas de hectares irrigados. Isso só viabilizou-se pela introdução da mecanização e da automação nos sistemas de irrigação por aspersão.

O sistema pivô central foi desenvolvido na década de 50 nos E.U.A. e é um sistema mecanizado automatizado. Esse sistema tem sido, desde o início de sua utilização, tema de inúmeras pesquisas que abordam a sua operação, até a distribuição de água proporcionada por ele.

No Brasil este sistema foi introduzido na década de 70 e o aumento do número de áreas irrigadas por pivô central sobrepuja até o avanço da tecnologia empregada no controle de irrigação nas propriedades agrícolas brasileiras. Isso é facilmente confirmado visitando-se verdadeiros "polos" de irrigação por pivô central, onde o agricultor teve acesso a esse equipamento e não possui a mínima noção de controle de irrigação. Um dos motivos da falta de conhecimento é o distanciamento entre o agricultor, o fabricante do equipamento e o pesquisador, que ainda não estudou vários detalhes do sistema pivô

central.

Logo no início de sua implantação no Brasil, este equipamento veio provido de um aspersor canhão final, que aumenta consideravelmente a área irrigada pelo sistema (aproximadamente 16% num sistema médio), com um pequeno acréscimo no custo de aquisição (aproximadamente 5%). Mas o canhão foi quase abandonado pelos fabricantes, pois a área irrigada pelo mesmo não apresentava uniformidade de distribuição compatível com o restante do sistema. O que ocorre, é que na maioria dos casos, o canhão final opera sem regulagem ideal, ou seja, ele é colocado no sistema da maneira que o agricultor acha melhor, sem uma prévia instrução, já que o fabricante somente especifica para o canhão final os valores de vazão, pressão, bocal, bomba booster necessária e raio útil de alcance, sem as características do ângulo setorial de operação do mesmo. Portanto, falta ao projetista parâmetros para que ele possa definir, além das características normais, qual o melhor ângulo de operação do canhão final e número de batidas por volta, para que ele apresente uma distribuição de água compatível com o restante do sistema.

Devido a dificuldade de se obter curvas de distribuição de água para diferentes condições de operação de aspersores em testes de campo, modelos de simulação tem sido desenvolvidos para reproduzi-las. Neste caso, a partir de valores de precipitação do canhão (parado) ao longo de seu raio de alcance, obtidos no campo, pode-se simular a

operação do canhão final no pivô central girando a uma determinada velocidade.

Assim o presente trabalho tem os seguintes objetivos:

- a) Obter os valores de lâminas aplicadas do canhão estacionado para pressão e diâmetro de bocal pré-determinados, com batidas (lenta e rápida) do sistema de movimento.
- b) Simular, a partir do ensaio estacionário, o canhão operando no pivô central em movimento, variando ângulo setorial e obter as respectivas curvas de distribuição.
- c) Ensaiar o canhão final operando em um pivô central, com as características de pressão e bocal iguais ao do ensaio estacionário e com diferentes ângulos setoriais e comparar com o modelo de simulação desenvolvido.
- d) Determinar as melhores condições de operação do canhão final, dentro das limitações da simulação utilizada.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O objetivo em qualquer equipamento de irrigação, além da funcionabilidade, é a distribuição uniforme da água no solo, para que todos os pontos recebam quantidade de água suficiente, não em déficit ou excesso, para o pleno desenvolvimento das plantas. Para facilitar a obtenção dos dados, e posterior análise da distribuição de água por sistemas de irrigação por aspersão, muitos autores, a partir de dados estacionários dos aspersores, simulam a operação dos mesmos em sistemas com movimento, como no Auto-propelido e Pivô-Central.

2.1. Parâmetros numéricos para distribuição de água

Quando o assunto a ser pesquisado é uniformidade de distribuição, logo aparece o nome de CHRISTIANSEN (1942), que afirma que o objetivo principal da irrigação por aspersão é distribuir água no solo na forma que possa ser absorvida sem escoamento superficial. Este autor salienta, que o grau de uniformidade de distribuição vai depender do perfil produzido pelo aspersor, que se

relaciona com o vento, pressão de serviço, altura de elevação, diâmetro e tipo de bocal dos aspersores.

CHRISTIANSEN foi o primeiro a quantificar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão, empregando o que ele chamou de coeficiente de uniformidade, apresentado em forma de equação a seguir:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \cdot \bar{X}} \right)$$

sendo:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);

$\bar{X}$ = Precipitação média geral (ml);

$|X_i - \bar{X}|$ = Valor absoluto dos desvios

X_i = Precipitação obtida no pluviômetro de ordem i (ml)

n = Número de observações.

CRIDDLE et alii¹, citado por SATTO (1978), determinaram um parâmetro que leva em conta os valores baixos de precipitação, ou seja, a Eficiência Padrão de CRIDDLE (EPC).

¹ CRIDDLE, W.O.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D.G. 1956. Methods for evaluating irrigation systems. Agric. Handbook 2, SCS - USDA, Washington, D.C., 24p.

$$EPC = \frac{X^*}{\bar{X}} \cdot 100 (\%)$$

onde:

X^* = média dos 25% de precipitações mais baixas;

$\bar{X}$ = média geral das observações

Adaptando a Eficiência Padrão de Criddle para o Pivô Central, o UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA (1979) diz que os valores baixos de precipitação devem ser multiplicados pelo fator de ponderação, em ordem crescente, até que a soma dos fatores de ponderação utilizados atinja 25% da soma total do número de posições utilizadas para o cálculo.

Para a avaliação da uniformidade de aplicação de água nos sistemas tipo Pivô Central, HEERMANN e HEIN (1968) apresentaram uma equação para cálculos que considera uma ponderação de acordo com a dimensão da área abrangida pelo coletor. A equação é a seguinte:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n D_i S_i}}{\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n D_i S_i}} \right]$$

Sendo:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);
 Di = Lâmina ou volume coletado no coletor;
 Si = Distância do coletor ao ponto do Pivô;
 n = Número de coletores utilizados;
 i = Índice que indica um ponto a uma certa distância do ponto do Pivô

Esta equação acima é adotada pela American Society of Agricultural Engineers (ASAE) em sua norma que aborda o procedimento para avaliação da distribuição do Sistema Pivô Cental (ASAE - 1986).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT - (1985), em seu projeto de caracterização de desempenho em sistemas de irrigação por Pivô Central apresenta a expressão anterior, de forma reduzida, considerando na ponderação o número de posição dos coletores ao invés da distância do mesmo, ou seja:

$$CUC = 100 \left[1,0 - \frac{|d|}{m \times n} \right]$$

sendo:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);
 m = Lâmina ou volume médio ponderado captado nos coletores;
 n = Soma dos números de posição dos coletores utilizados no ensaio;
 d = Valor absoluto do desvio ponderado entre a lâmina ou volume captado em cada coletor e a lâmina ou volume médio ponderado.

MERRIAN e KELLER (1978) também recomendam para avaliação de sistemas de irrigação por aspersão tipo pivô central, a utilização do número da posição dos coletores para a ponderação dos valores de lâmina coletada, para o cálculo do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e da Eficiência Padrão de Criddle.

BEALE e HOWELL (1966) discutiram avaliações de uniformidades nos sistemas de irrigação com aspersores, e compararam vários coeficientes. O coeficiente de Christiansen foi considerado o de média mais satisfatória.

Para o caso da análise isolada da distribuição de água do canhão final em Pivô Central, SOLOMON e KODOMA (1978) recomendam o cálculo de sua eficiência de aplicação de água. A eficiência de aplicação de água do canhão, é definida como a porcentagem da sua vazão que não é aplicada além do raio efetivo, ou numa taxa acima daquela necessária para cultura. O raio efetivo, é computado em função de uma porcentagem da taxa média de aplicação da água sob o Pivô, que proporcione um crescimento aceitável das plantas, correspondendo nas regiões áridas a 70% e nas úmidas a 40%.

Os autores utilizam a seguinte equação para a análise de eficiência:

$$Ea = \frac{\int_0^R (L + x) \sin(x) dx}{K \cdot Q} \times 100$$

Onde:

E_a = Eficiência de aplicação do canhão final (%);

L = Comprimento do Pivô até o canhão (m)

x = Distância do canhão até o ponto em consideração (m)

$a_m(x)$ = Mínimo entre a taxa média de aplicação do Pivô e a taxa de aplicação do canhão (mm/h)

R = Raio efetivo do canhão (m)

K = constante = 158,57

Q = Vazão do canhão (m^3/h)

A Figura 1 mostra como são definidos os raios efetivos através das percentagens das taxas de aplicação.

As_1 e As_2 = Taxa de aplicação do restante do sistema

pAs_1 e pAs_2 = Porcentagem de taxa de aplicação

Figura 1 - Definição do raio efetivo de alcance para determinação da eficiência volumétrica em diferentes sistemas.

Considerando-se que a eficiência de aplicação pode ser 100% caso a taxa de aplicação do Pivô seja maior que a taxa de aplicação do canhão, recomenda-se que também seja analisada a eficiência de armazenamento que é citada por MATSURA (1987) como sendo:

$$E_{ar} = \frac{\text{Volume armazenado no perfil do solo}}{\text{Volume necessário para a capacidade de campo}}$$

LEME (1986) analisando a eficiência de aplicação de água e a eficiência de armazenamento em um Pivô Central, registrou valores para essas eficiências próximas de 90%, em um pivô com CUC de 87% .

2.1.1. Interferência do vento

O problema do vento na distribuição de água por qualquer tipo de equipamento é um fato que deve ser destacado já que, dependendo da sua intensidade, afeta consideravelmente a distribuição. Este problema é citado pelo USDA, e diz que a distribuição de água pelo canhão final é severamente afetada pelo vento.

Outro autor que destaca a importância do vento na uniformidade de distribuição de água é BRIDI (1984), que pesquisando a uniformidade da distribuição de água em sistemas de irrigação por Pivô-Central, concluiu que o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen mostrou-se mais sensível a variação de velocidade do vento

tendendo a diminuir com o aumento de velocidade.

2.2. Canhão final

A sua utilização no Pivô Central é bastante discutida pelos pesquisadores, que apresentam várias maneiras de utilização e procuram soluções para melhor entender sua distribuição de água.

O "UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE" (1979) cita em um dos capítulos do "National Engineering Handbook" que, grandes canhões finais podem aumentar significativamente a área irrigada por um Pivô Central. Por exemplo, somando-se um adicional de 30 metros de raio a um sistema de 396 metros, a área coberta irá aumentar de 49,3 ha para 57 ha (16%). Todavia, quando os canhões finais são usados somente nos cantos do campo, o efeito da sua operação e parada deve ser considerado. Se a vazão do canhão excede 20% da vazão normal do sistema, o efeito na quantidade de irrigação na maior parte interna do campo deve ser também considerada. Outros problemas citados, referem-se à distribuição de água, que é em geral, severamente afetada pelo vento, às bombas booster, que são necessárias em sistemas com bocais de baixa pressão, e às altas intensidades de aplicação, que são encontrados abaixo dos canhões, prejudicando o solo e a cultura.

Outros autores analisaram o canhão operando na volta toda do sistema. Foi o caso de SOLOMON e

KODOMA (1978), que concluíram que são três os principais fatores que influenciam a aplicação de água pelo aspersor canhão:

- a curva de distribuição de água proveniente do aspersor parado, depende dos bocais usados e da pressão existente na extremidade do sistema.
- a largura e localização do setor formado pelo arco em que o canhão é colocado para funcionar.
- o fato do aspersor canhão girar em torno do seu próprio eixo, enquanto o sistema gira em torno do Pivô Central.

Enquanto que aqui no Brasil, os fabricantes não tem a preocupação de passar informações mais detalhadas sobre a operação do canhão final, ROLLAND (1982) apresenta no "Mechanized Sprinkler Irrigation" - FAO alguns fabricantes deste tipo de equipamento, que relacionam em seus catálogos informações sobre os mesmos. A Nelson Company apresenta um esquema de ângulo de operação do canhão final e a área adicional de irrigação, como na Figura 2. Esse esquema apresenta o ângulo e a posição do mesmo em relação a tangente do círculo irrigado pelo Pivô e é recomendado para um determinado modelo de canhão produzido por este fabricante. Também apresenta a Rain Bird Company que relaciona vários ângulos de operação e suas respectivas lâminas aplicadas, conforme Figura 3.

Figura 2 - Esquema do ângulo de operação do canhão final recomendado pela Nelson para o canhão modelo P 100.

Figura 3 - Diferentes curvas de aplicação para diferentes ângulos e posições em relação a tangente do círculo irrigado de acordo com a Rain Bird Company.

O fabricante destaca que a regulação C dá uma melhor uniformidade e D a pior, mas esta acrescenta uma maior precipitação a grandes distâncias. Nos casos B e C, uma lâmina na parte irrigada pela lateral é adicionada.

O UNITED STATES DEPARTAMENT OF AGRICULTURE (1979) apresenta um esquema de operação do canhão final (Figura 4), como sendo o que irá proporcionar a melhor distribuição de água e recomenda a sua utilização.

Figura 4 - Esquema de operação do canhão final mostrando o ângulo de operação recomendado.

SOLOMON e KODOMA (1978) analisando curvas de distribuição de água de canhões finais destacam que o melhor entre vários ângulos de operação, depende do modelo de canhão considerado.

Estes autores destacam que não temos um ângulo de operação pré-determinado para o canhão final. É necessário que se faça uma análise das curvas de distribuição para se chegar a conclusão de qual ângulo é

melhor. Para cada tipo de canhão e até de Pivô Central, haverá uma melhor maneira de operação do canhão final.

2.3. Simulação

Alguns autores preferem analisar comportamentos de aspersores de forma analítica. A lâmina d'água resultante da movimentação de um aspersor num padrão linear ou circular foi computada analiticamente para perfis teóricos de aplicação por BITTINGER e LONGENBAUGH (1962).

HEERMAN e HEIN (1968) utilizaram as equações de Bittinger e Longenbaugh para simular a distribuição de água ao longo de todo um Pivô Central e concluíram que a lâmina aplicada por um aspersor localizado a mais de 200 metros do ponto do Pivô é a mesma, quando se considera um padrão de movimento circular ou retilíneo.

Outro trabalho muito utilizado pelos pesquisadores para simulação é o de KINCAID e HEERMANN (1970), que aborda as perdas de pressão no sistema Pivô Central e seu efeito na uniformidade e taxa de aplicação a diferentes distâncias do Pivô.

JAMES (1982), desenvolveu um modelo matemático que combina a versão generalizada de Heermann e Hein para cálculo das lâminas e de Kincaid e Heermann para distribuição da pressão ao longo da lateral. Neste modelo as variáveis correspondentes a curva de reguladores de pressão, curva da bomba e topografia do terreno são

englobados. Ele desenvolve e verifica um modelo para estimar o desempenho do Pivô Central operando em topografia variada, e também avalia a energia consumida com as variações na topografia.

Utilizando também o artifício da simulação, ROLLAND, descreve um programa de simulação da distribuição da lâmina de irrigação em sistemas autopropelidos. Da mesma maneira que o presente trabalho, ele utiliza o perfil estacionário de aplicação de água do aspersor canhão. Esse programa tem por base o perfil radial de aplicação de água de um aspersor, obtido no teste estacionário do mesmo, onde se determina a variação da taxa de aplicação de água em função da distância do aspersor. Para diferentes ângulos de operação do aspersor e espaçamento entre carregadores é possível determinar a lâmina aplicada.

HART e HEERMANN² (1976) citados por HERMANN e KOHL (1983), simularam o efeito de um vento de 9m/s sob um Pivô Central através da sobreposição da distribuição de água de diversos aspersores obtidos em testes sob condições de vento. Estes autores, relatam que o principal efeito do vento foi a mudança na área irrigada. Informam que os sistemas móveis mantêm bons valores de

² HART, W. E. & D. F. HEERMANN. Evaluating water distributions of sprinkler irrigation system. Colo. State Univ. Exp. Sta., Fort Collins. Tech. Bul. 128, 39p

Christiansen devido as suas características inerentes de projeto e as vantagens de operação. Para melhorar o valor acumulado de Christiansen, estes sistemas deveriam ser operados de forma a retornar a um dado local, em uma hora do dia oposta àquela da última irrigação para tirar vantagem das flutuações diárias do vento.

Rapp et alii (1979) estudando experimental e teoricamente as relações entre perfil de distribuição de água de aspersores e vento na uniformidade de distribuição de água nos Pivôs Centrais, concluíram que apesar da uniformidade ser afetada pela direção e velocidade do vento, o efeito da direção é mais pronunciado. Desta forma para uma velocidade de vento de 32 km/h a uniformidade (CUC) variou de 87,3% para 91,4% em função da mudança de direção do vento.

Alguns autores analisam em seus trabalhos o comportamento do canhão final operando nos cantos das áreas quadradas. É o caso de Bermuth (1983), que pesquisou a melhor estratégia de dimensionamento dos bocais do Pivô Central para absorver as variações da vazão sem afetar muito a sua distribuição, já que a pressão irá cair com o canhão acionado.

EDLING (1989) também fez análises com o canhão operando somente nos cantos. Ele comparou gastos de energia com o sistema operando sem e com o canhão sem alterações no Pivô, com o canhão com variação de velocidade e com o canhão introduzindo regulador de pressão nos

aspersores.

SOLOMON e KODOMA (1978) utilizando os princípios de Bitinger e Longenbaugh, desenvolveram simulações da lâmina aplicada pelo canhão final num Pivô Central, a partir do padrão estacionário de distribuição de água do mesmo. A análise dessas simulações, considerando-se três modelos distintos de canhões, demonstrou que as curvas de distribuição de água expressas em termos de taxa aparente e % do raio de alcance, numa determinada faixa de bocais e pressões de operação, são essencialmente iguais. Isto permitiu que os dados fossem condensados em uma curva generalizada de aplicação para cada aspersor e ângulo de operação. As curvas são apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7.

Figura 5 - Curvas das taxas de aplicação do canhão 85EW.

Figura 6 - Curvas das taxas de aplicação do canhão 95E.

Figura 7 - Curvas das taxas de aplicação do canhão 105C.

A partir dos trabalhos de Bittinger e Longenbaugh e de Heermann e Hein, pode-se adaptar suas equações utilizando o padrão de distribuição do ensaio estacionário do canhão, e considerando, que o movimento dos coletores em relação ao canhão será retilíneo, em virtude do mesmo geralmente, ser instalado a mais de 200 metros do ponto do Pivô. Com estas equações o Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA) desenvolveu um programa de computador para simular a operação do canhão final no Pivô-Central.

3. METODOLOGIA

3.1. Ensaio estacionário do aspersor canhão

Seguindo a ordem dos objetivos do presente trabalho, a primeira etapa foi ir a campo obter as curvas de distribuição do aspersor canhão operando parado, na pressão e bocal iguais ao do ensaio com o canhão operando no pivô central, com batidas rápidas e lentas do mecanismo de giro do canhão.

O aspersor canhão ensaiado foi o modelo 1S-RL fabricado no Brasil pela FABRIMAR S/A INDÚSTRIA E COMÉRCIO. As principais características deste aspersor são, a regulagem de um setor de giro e o retorno a posição de saída também com batidas constantes iguais ao movimento de ida, e a regulagem do número de batidas por volta (lenta, média, rápida).

Os ensaios foram realizados no Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA) em Sorocaba - SP de acordo com a norma NBR 8989, com um espaçamento entre coletores de 6m x 6m. A pressão de operação foi de 460 KPa com bocal de 17,8mm e vazão de $24,95\text{m}^3/\text{h}$. Foram realizados

ensaios, um com batidas rápidas e outro com batidas lentas. Foram também, realizados mais quatro ensaios com pressões (400 e 500 kPa) batidas diferentes (lenta e rápida), para comparações entre as diversas formas de operação do canhão.

3.2. Simulação do aspersor canhão

A segunda etapa é a simulação do aspersor canhão operando no Pivô Central em movimento, com um ângulo setorial qualquer.

Primeiramente, deve-se corrigir os valores das precipitações do ensaio estacionário, que é realizado com o canhão fazendo todo o giro, ou seja, 360° , para o ângulo setorial desejado. A nova precipitação será determinada por:

$$I = I' \times \frac{360^\circ}{\text{ang.}}$$

sendo:

I' = precipitação no ensaio estacionário (mm/h)

ang = ângulo setorial desejado

I = precipitação corrigida (mm/h)

Em seguida, deve-se obter a lâmina aplicada em cada posição ao longo do raio do aspersor canhão. Para melhor entendimento do meio de cálculo, considera-se que o coletor é quem viajará em frente ao canhão, e com as precipitações para cada distância com o canhão operando parado, obteremos as lâminas para cada

distância ao longo do raio do canhão operando no Pivô a uma determinada velocidade. Será considerado, como mostra a Figura 8, que o coletor viajará em sentido retilíneo, pois o canhão está a mais de 200m do centro do Pivô.

Figura 8 - Esquema dos elementos utilizados no cálculo da lâmina aplicada pelo canhão final em movimento.

Sendo:

R_1 = Raio máximo (m) (ensaio estacionário)

P_1 = Taxa de aplicação a uma distância R_1 do canhão (mm/h)

R_2, R_3, R_n = Raios menores que o raio máximo (m)

P_2, P_3, P_n = Taxas de aplicação a distâncias R_2, R_3, R_n (mm/h)

L_a, L_b, L_n = Lâminas recebidas pelo coletor no intervalo de aplicação entre um raio e outro (mm)

T_a, T_b, T_n = Tempos de aplicação da lâmina L_a, L_b, L_n

r_1 = Distância do centro do pivô até o ponto em questão (m)

D_c = Distância do centro do pivô até o canhão (m)

V_1 = Velocidade do ponto em questão (m/h)

a = Distância de aplicação da lâmina L_a (m), ou seja, entre os raios R_1 e R_2

$b, \dots, n$ = Distância de aplicação das lâminas $L_b, \dots, L_n$ (m)

S_1 = Distância do coletor ao canhão (m)

V = Velocidade do aspersor canhão (m/h)

X_1 = Distância do ponto 0 ao ponto de precipitação P_1 (m)

X_2 = Distância do ponto 0 ao ponto de precipitação P_2 (m)

L = Lâmina total recebida pelo coletor, a uma distância S_1 do canhão, por quadrante (mm)

Onde:

$$X_1 = \sqrt{D_1^2 - S_1^2}$$

$$X_2 = \sqrt{D_2^2 - S_1^2}$$

$$a = X_1 - X_2$$

$$T = \frac{a}{V}$$

$$V_1 = V \frac{r_1}{D_c}$$

$$r_1 = D_c + S_1$$

$$L_a = \frac{P_1 + P_2}{2} \times T$$

$$L = L_a + L_b + \dots + L_n$$

Utilizaremos 4 quadrantes para representar o giro total do aspersor canhão e apresentamos na Figura 9, a forma de variação dos ângulos.

Figura 9 - Divisão dos quadrantes do canhão e sentido de variação dos ângulos.

O mais importante para o cálculo da lâmina L a cada distância S_i é definir o Raio máximo e o Raio mínimo a serem utilizados do ensaio estacionário.

Apresentamos a seguir as hipóteses possíveis.

a) Para o primeiro e quarto quadrante

Se o ângulo é 90° e Raio máximo = Raio do canhão

Raio máximo = R_1 (raio do aspersor)

Raio mínimo = S_1 (distância do canhão ao coletor)

Se o ângulo é $< 90^\circ$ e Raio máximo $<$ Raio do canhão

Raio mínimo = S_1

Raio máximo = $S_1 / \cos. \text{ ang.}$

b) Para o segundo e terceiro quadrantes

Se o ângulo é 90°

Raio máximo = R_1

Raio mínimo = S_1

Se o ângulo é $< 90^\circ$

Raio máximo = R_1

Raio mínimo = $S_1 / \cos (90 - \text{ang})$

OBSERVAÇÃO: Caso os Raios máximo e mínimo não coincidam com os Raios do ensaio estacionário, faremos uma interpolação linear dos mesmos.

3.2.1. Programa de computador para simulação

Para a obtenção das curvas de distribuição de água ao longo do canhão final (Distância x Lâmina), foi utilizado um programa de simulação desenvolvido pelo CENEA (Centro Nacional de Engenharia Agrícola).

A partir de dados do ensaio do canhão final operando parado (distância x taxa de aplicação) num determinado número de batidas, o programa simula este canhão utilizando um certo ângulo setorial, girando a uma determinada velocidade e determina sua curva de distribuição, ou seja, para cada distância, uma lâmina.

Na Figura 10, apresentamos um resumo e no Apêndice 1, o programa de computador da simulação da operação do canhão final operando no Pivô Central, na linguagem "BASIC".

ENTRADA DE DADOS

DIST. ÚLTIMA TORRE (ha)	DIST. DO CANHÃO (m)
VELOCIDADE DA ÚLTIMA TORRE (m/h)	LAMINA APLICADA NESTA VELOCIDADE (mm)
PERCENTAGEM DA LAMINA APLICADA PARA EFEITO DE CÁLCULO DO RAIÃO EFETIVO.	

LEITURA DO ARQUIVO DE ENSAIO ESTACIONÁRIO ATRAVÉS DE SEU CÓDIGO.

ENTRADA

- Ângulos por quadrante
- Distância inicial da simulação
- Distância entre pontos a serem simulados

Simulação nos pontos anteriores ao canhão

SUB-ROTINA
2° e 3° QUADRANTE

Simulação nos pontos posteriores ao canhão

SUB-ROTINA
1° e 4° QUADRANTE

IMPRIME RESULTADOS

- Distância
- Lâmina

ANÁLISE VOLUMÉTRICA

- Erro volumétrico
- Eficiência aplicação
- Eficiência armazenamen.
- Raio efetivo
- % do raio utilizado

OBS.: A sub-rotina tem a função de somar as lâminas acumuladas e interpolar as lâminas nos raios mínimos.

Figura 10 - Resumo do programa de simulação.

3.3 Ensaio do canhão final operando no Pivô Central

Foram realizados 8 ensaios de distribuição de água do canhão final no pivô, observando-se quatro diferentes ângulos de giro ($90^\circ+90^\circ$, $90^\circ+60^\circ$, $45^\circ+45^\circ$ e $15^\circ+90^\circ+45^\circ$) em duas regulagens de velocidade de batida (lenta e rápida).

Figura 11 - Ângulos de operação do canhão final, que foram utilizados nos ensaios.

3.3.1. Local

Os ensaios foram realizados em um equipamento tipo Pivô Central instalado na Chácara Sandra no Município de Elias Fausto - SP.

3.3.2. Características do equipamento

- Modelo MD 400 BP/7VM - Fabricante: Dantas Irrigação Ltda
- No. de torres: 7
- Vão entre torres: 45m
- Balanço: 12,5m
- Comprimento total da tubulação: 327,5m
- Diâmetro de tubulação: 6.5/8"
- Bomba booster - Modelo ETABLOC 32-125.1 - Fabricante: KSB
 - Potência: 4,0 CV
 - Vazão : 24,95 m³/h
 - Rotor : 134 mm
 - Pressão : 25 mca
- Canhão final - Modelo 1S-RL (18)
 - Fabricante: Fabrimar S/A Ind. e Comércio
 - Bocal : 17,8 mm
 - Pressão de operação: 460 KPa

3.3.3. Coletores

Os coletores utilizados foram latas de alumínio com 12cm de altura e 10,7cm de diâmetro instalados em tripés com encaixe para as latas, cujas bordas ficaram a 40cm do solo.

3.3.4. Disposição dos coletores no campo.

Os coletores foram instalados em um local topograficamente representativo, em 3 linhas radiais a partir da última torre do Pivô, a uma distância de 2m entre

os inícios das linhas. A distância entre os coletores foi de 2m e a disposição é mostrada a seguir:

Figura 12 - Esquema da distribuição dos coletores no ensaio de campo do canhão final.

3.3.5. Coleta de dados

3.3.5.1. Pressão do canhão

A medida de pressão foi feita com manômetro de Bourdon com escala de 0-10 Bar, com leitura de 0,05. O manômetro foi instalado em um suporte a 3m abaixo do nível do canhão e ligado a sua base através de uma mangueira flexível. A leitura foi convertida para KPa.

3.3.5.2. Velocidade do Vento

Foi medida em anemômetro de concha, para medição de velocidade instantânea nas faixas de 0-5 e 0-30m/s. Foi utilizada a primeira faixa e foram lidas 3

velocidades ao início, meio e fim dos testes, computando-se o valor médio convertido para km/h.

3.3.5.3. Velocidade do Pivô Central

Foi medida embaixo da linha de caminhamento do canhão final. Foram colocadas duas estacas a uma determinada distância, e medido o tempo de percurso entre elas.

$$V(m/h) = \frac{\text{distância (m)}}{\text{tempo (min)}} \times \frac{60 \text{ min}}{h}$$

Observação: Todos os testes foram realizados com o Pivô Central girando em sua velocidade máxima (100%)

3.3.5.4. Ângulo de operação do canhão

Foi regulado através do sistema de batentes do setorial, que tem uma graduação de 10 em 10°, obedecendo os valores pré-determinados.

3.3.5.5. Velocidade de batida do sistema de deslocamento

Foi regulada através da mudança do contra-peso no balanço com três posições possíveis. Foram utilizados as extremas, ou seja, a lenta e a rápida.

3.3.5.6. Volume de água precipitada nos coletores

O volume dos coletores foi transferido para uma proveta graduada de 100ml, com subdivisões de 1ml.

Os valores de volumes foram transformados em lâminas a partir do diâmetro dos coletores. As lâminas foram corrigidas levando em consideração que a velocidade do canhão nos ensaios seria diferente da velocidade adotada na simulação (169,12 m/h).

$$L_c = L_{ob} \times \frac{169,12}{Vel.ob}$$

L_c = Lâmina corrigida (mm)

L_{ob} = Lâmina observada (mm)

$Vel.ob$ = Velocidade observada (m/h)

3.4. Cálculo de eficiência de aplicação e eficiência de armazenamento.

Para o cálculo das eficiências, primeiramente determinou-se os raios efetivos utilizando-se duas percentagens da lâmina média de aplicação do Pivô em questão. Para $p = 0,4$ (regiões úmidas) e lâmina, $L = 4,7\text{mm}$; $pL = 1,88\text{mm}$. Para $p = 0,7$ (regiões áridas) e lâmina $L = 4,7\text{mm}$; $pL = 3,29\text{mm}$.

Figura 13 - Definição do raio efetivo de alcance do canhão para o pivô em questão.

A partir da definição do raio efetivo, pode-se delimitar as áreas para cálculo das eficiências como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Definição das áreas para determinação das eficiências de armazenamento e aplicação.

A partir da Figura 14 pode-se determinar a Eficiência de aplicação e armazenamento:

$$\text{Ef. apl. (\%)} = \frac{\text{Área A}}{\text{Área total sob a curva}} \times 100$$

$$\text{Ef. arm.} = \frac{\text{Área A}}{\text{Área do retângulo}} \times 100$$

As equações acima, também foram incluídas no programa de computador elaborado pelo CENEA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ensaio estacionário do aspersor canhão

São apresentadas as Tabelas (2.1 a 2.6) no Apêndice 2, com os volumes e lâminas coletadas nos ensaios realizados no CENEA. Procurou-se ensaiar os canhões em condições climáticas favoráveis, o que podemos observar pelas velocidades de vento medidas.

Posteriormente, as lâminas foram transformadas em taxa de aplicação e continuaram com os mesmos valores, já que os ensaios tiveram duração de uma hora. Relacionou-se taxas de aplicação para cada distância de coletores a partir do canhão, e apresentou-se na Tabela 1.

A partir das taxas de aplicação para cada distância ao longo do canhão final, traçou-se as curvas de distribuição do ensaio estacionário e mostrou-se na Figura 12.

Tabela 1 - Taxa de aplicação de água (mm/hora) ao longo do raio do aspersor canhão.

Vazão (m³/h)						
24,95			23,20		26,04	
Velocidade do vento (km/h)						
2,6		1,9	2,3	3,2	2,3	1,5
Pressão (KPa)						
460			400		500	
Dist (m)	Batida					
	Lenta	Rápida	Lenta	Rápida	Lenta	Rápida
1,5	1,6	2,6	1,4	1,3	1,6	1,6
3,0	3,9	6,3	3,9	4,6	4,2	5,8
4,2	6,0	8,8	5,5	7,6	5,8	9,1
6,0	7,7	10,2	6,8	9,7	6,7	10,9
9,5	7,0	6,7	5,6	6,7	5,4	6,5
12,7	5,9	6,3	5,0	6,3	5,2	6,7
15,3	6,2	6,8	5,8	6,8	5,7	6,9
17,5	6,0	6,3	6,2	6,0	6,0	6,6
21,2	5,8	5,4	6,3	5,3	6,2	5,5
22,8	5,7	5,4	6,3	5,1	6,1	5,5
25,8	5,5	5,7	6,1	5,7	5,9	4,8
27,2	5,6	5,2	6,3	5,4	6,0	5,2
28,5	5,6	5,7	6,2	5,8	6,0	5,4
29,5	5,9	5,0	6,0	5,4	5,8	5,1
30,9	5,2	5,4	6,0	5,4	5,8	4,8
33,1	4,8	5,4	5,6	5,1	5,5	4,8
34,2	5,2	4,6	4,4	4,7	5,1	4,8
36,2	4,2	3,6	1,0	2,1	4,6	4,3
38,2	1,7	1,6	0,0	0,0	2,8	3,4
39,1	0,9	0,8			1,4	2,1
40,0	0,3	0,3			0,9	0,8
41,8	0,0	0,0			0,0	0,0

lenta

rápida

lenta

rápida

lenta

rápida

Figura 15 - Taxas de aplicação de água ao longo do canhão final no ensaio estacionário.

A partir das curvas com as taxas de aplicação ao longo do canhão final, pode-se fazer várias observações. Quanto ao raio, nota-se que o canhão com pressão de 400 KPa, teve um alcance menor que os outros testes com pressões maiores.

Mas a característica mais importante apresentada pelas curvas, é o acréscimo de água próximo ao canhão nos ensaios com batida rápida. Isto pode ser explicado pelo maior número de batidas que o sistema de deslocamento dá por volta, ou seja, a concha que sofre o impacto da água e que proporciona o deslocamento do canhão, fica mais tempo em frente ao jato do que o da batida lenta, quebrando assim mais vezes o jato e fazendo com que uma quantidade maior de água caia próximo ao canhão.

4.2. Simulação

Para a obtenção das curvas de distribuição de água (Dist. x Lâmina) através de simulação, utilizou-se os dados do ensaio estacionário com uma pressão de 460 Kpa, condição esta igual aos ensaios de campo com o canhão operando no Pivô e com batidas rápidas e lentas.

A velocidade do pivô considerada foi de 169,12 m/hora e os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Lâmina (mm) aplicada ao longo do canhão final operando no Pivô Central (simulação).

Dist (m)	BATIDA							
	LENTA				RAPIDA			
	ANGULO							
	180°	150°	90°	150°	180°	150°	90°	150°
		(1)		(2)		(1)		(2)
1,5	5,03	3,12	0,15	3,06	5,40	3,40	0,24	3,31
3,5	5,20	3,66	0,93	3,40	5,58	4,12	1,38	3,76
5,5	5,25	4,12	1,92	3,72	5,50	4,43	2,46	4,04
7,5	5,09	4,26	2,48	3,80	5,13	4,35	2,59	3,86
9,5	4,87	4,35	2,80	3,76	4,86	4,38	2,84	3,76
11,5	4,68	4,45	3,21	3,77	4,70	4,62	3,40	3,84
13,5	4,54	4,11	3,74	3,85	4,57	4,68	3,98	3,94
15,5	4,38	4,76	4,21	3,89	4,36	4,74	4,31	3,91
17,5	4,18	4,81	4,59	3,88	4,07	4,70	4,50	3,79
19,5	3,97	4,75	4,99	3,88	3,83	4,58	4,82	3,74
21,5	3,74	4,49	5,40	3,87	3,61	4,33	5,19	3,72
23,5	3,50	4,21	5,71	3,82	3,42	4,11	5,67	3,76
25,5	3,26	3,91	6,02	3,76	3,18	3,81	5,91	3,68
27,5	2,99	3,59	5,92	3,57	2,89	3,47	5,72	3,45
29,5	2,66	3,19	5,31	3,19	2,53	3,03	5,05	3,03
31,5	2,19	2,63	4,38	2,63	2,20	2,64	4,39	2,64
33,5	1,81	2,18	3,63	2,18	1,66	1,99	3,32	1,99
35,5	1,20	1,44	2,40	1,44	1,05	1,26	2,10	1,26
37,5	0,48	0,57	0,96	0,57	0,44	0,52	0,87	0,52
39,5	0,08	0,10	0,16	0,10	0,06	0,09	0,15	0,09
41,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
43,5			0,00					

4.3. Ensaio do canhão final operando no Pivô Central

Os ensaios de campo foram realizados em condições climáticas que deveriam ser favoráveis, mas na maior parte das vezes a velocidade do vento se apresentou acima de 3 km/h. As planilhas de campo estão apresentadas no Apêndice 3.

A partir dos dados obtidos no campo, tirou-se a média dos volumes coletados e transformou-se em valores de lâmina, considerando que o diâmetro médio dos coletores é 10,7cm.

Na Tabela 3, apresenta-se os resultados do canhão final operando no Pivô Central para os dois tipos de batida e vários ângulos de operação. Os resultados das lâminas estão corrigidos, levando em conta que a velocidade do canhão no ensaio de campo é diferente da velocidade de simulação.

4.4. Comparação entre curvas de distribuição de água, simuladas e observadas.

A partir das Tabelas 2 e 3 podemos traçar as curvas simuladas e observadas e fazer a comparação entre elas. As comparações apresentamos nas Figuras 13 a 20.

Tabela 3 - Lâmina (mm) aplicada ao longo do canhão final operando no Pivô Central (observação de campo).

Dist (m)	BATIDA							
	LENTA				RAPIDA			
	ÂNGULO							
	180°	150°	90°	150°	180°	150°	90°	150°
		(1)		(2)		(1)		(2)
1,5	3,97	0,00	2,01	1,15	6,90	5,38	2,12	1,41
3,5	4,89	0,15	1,65	1,66	5,62	4,66	1,49	2,04
5,5	4,82	0,56	0,00	2,34	5,62	4,88	0,00	3,48
7,5	5,08	2,56	0,11	3,17	5,40	5,34	0,45	4,23
9,5	4,71	3,74	0,47	3,71	4,99	5,52	1,71	4,26
11,5	5,12	4,49	1,15	3,89	5,21	5,70	3,38	3,97
13,5	4,86	4,97	2,01	3,89	4,59	5,45	3,98	4,26
15,5	4,34	5,56	2,69	3,93	4,26	5,56	4,64	4,56
17,5	4,34	5,45	3,37	4,29	3,49	5,16	5,87	4,78
19,5	4,45	5,30	4,38	4,79	2,61	3,95	8,14	5,49
21,5	4,11	5,19	6,31	4,76	1,58	2,65	9,81	5,56
23,5	4,19	5,19	7,46	5,01	0,92	1,76	10,40	5,26
25,5	3,34	4,82	8,21	5,22	0,29	0,54	10,40	4,97
27,5	3,23	4,67	8,57	4,34	0,07	0,18	7,62	4,37
29,5	2,93	4,00	6,96	3,28	0,00	0,11	4,12	4,04
31,5	1,63	3,78	4,77	2,05		0,00	1,60	3,78
33,5	1,08	3,34	3,44	1,40			0,67	2,78
35,5	0,44	2,78	2,37	0,76			0,67	2,45
37,5	0,15	1,56	1,29	0,32			0,11	1,76
39,5	0,07	1,56	0,86	0,11			0,00	1,00
41,5	0,00	1,00	0,11	0,00				0,44
43,5		0,78	0,00					0,11
45,5		0,00						0,00

$V = 2,6 \text{ Km/h}$

Figura 16 - Curvas de distribuição de água (simulada e observada) do canhão final no Pivô Central com ângulo de 180° e batida lenta.

A curva acima, é a do ensaio que foi realizado com velocidade de vento mais baixa, e portanto, interferindo menos na configuração da mesma. Podemos observar que as duas curvas estão próximas, apenas nas distâncias maiores é que a curva observada fica abaixo do simulado, podendo ser atribuído pela ação do vento.

Figura 17 - Curvas de distribuição de água (simulada e observada) do canhão final operando no Pivô Central, com ângulo de 150° (1) e batida lenta.

Próximo ao canhão, observamos que não houve precipitação. Isto é explicado por não serem utilizados os sprays finais do balanço e pela ação do vento. O que deveria cair próximo ao canhão foi levado ao meio e ao final, proporcionando uma lâmina maior que o observado. O vento aumentou o raio de alcance do canhão.

$V = 8,4 \text{ km/h}$

Figura 18 - Curvas de distribuição de água (simulada e observada) do canhão final no Pivô Central com ângulo de 90° e batida lenta.

A pequena quantidade de água que deveria cair próximo ao canhão foi transportada pelo vento, aumentando ainda mais a lâmina do meio até $3/4$ do raio de alcance, e tendo valores iguais ao simulado no final. A lâmina que aparece até a distância de 5,5m é proveniente dos sprays de balanço.

Figura 19 - Curvas de distribuição de água (simulada e observada) do canhão final no Pivô Central com ângulo de 150° (2) e batida lenta.

Novamente a lâmina do início e de trás do canhão foi transportada pelo vento e acumulou-se mais no centro, aproximando-se do valor simulado no final do raio.

$V = 13,8 \text{ km/h}$

Figura 20 - Curvas de distribuição de água (simulada e observada) do canhão final no Pivô Central com ângulo de 180° e batida rápida.

Este ensaio foi realizado com a maior velocidade de vento em relação aos outros, e com uma direção que encurtou o raio de alcance e lançou água do canhão para a área irrigada pelos sprays. A lâmina no início também acentuou-se em relação ao simulado.

Figura 21 - Curvas de distribuição de água (simulada e observada) do canhão final no Pivô Central com ângulo de 150° (1) e batida rápida.

Esse ensaio realizou-se também com grande velocidade de vento e encurtou o raio de alcance. Com este ângulo de operação, normalmente a quantidade de água próximo ao canhão é menor que no meio, mas o vento acrescentou água no início e fez com que a lâmina observada fosse maior que a simulada.

Figura 22 - Curvas de distribuição de água (simulada e observada) do canhão final no Pivô Central com ângulo de 90° e batida rápida.

A direção do vento neste ensaio foi quase perpendicular ao jato do canhão, fazendo com que uma grande quantidade de água caísse no meio, devido a tendência do jato ser para esquerda, encurtando-o em relação aos coletores. Próximo ao canhão, normalmente com este ângulo, cai pequena quantidade que devido a ação de uma das coordenadas do vento também foi lançada mais para o meio do raio, fazendo com que neste setor a lâmina observada fosse maior que a simulada. A lâmina que aparece até a distância de 5,5m é proveniente dos sprays do balanço.

Figura 23 - Curvas de distribuição de água (simulada e observada) do canhão final no Pivô Central com ângulo de 150° (2) e batida rápida.

Com o ângulo de 15° para trás da tangente do canhão, uma certa quantidade de água deveria cair na parte irrigada pelo balanço. Com a ação do vento esta lâmina foi trazida para o início do raio ficando a lâmina observada maior que a simulada no meio e final do raio, que teve também seu alcance aumentado.

Depois de analisadas todas as figuras e comparados os dados simulados e observados, podemos colocar como válida a simulação e utilizar as curvas simuladas para outras análises e conclusões para o projeto do canhão final.

4.5. Comparação entre curvas de distribuição de água com regulagem das batidas, lenta e rápida.

Depois de concluir que a simulação é válida para obtenção da curva de distribuição de água, podemos fazer a comparação entre o sistema de regulagem de batida rápida e lenta, que apresentamos nas Figuras 24, 25, 26 e 27.

Podemos observar que a lâmina no início do raio, é maior na batida rápida em relação a lenta. Porém, o raio efetivo de alcance do canhão é maior na batida lenta. Os efeitos dessas diferenças em termos de eficiência, são analisados a seguir. Na Figura 27, a curva apresenta uma boa distribuição de água, mas os valores das lâminas são baixos, pois parte da água cai atrás do canhão final. Numa situação de vento, esta água pode ser levada para outra região, comprometendo a aplicação de água na importante área do balanço, e necessitando de bombas booster muito grandes para aplicar a lâmina de água requerida para a região do canhão. Portanto, iremos analisar as aplicações com ângulos de operação que apliquem água somente na região da frente do canhão.

Figura 24 - Comparação entre curvas de distribuição de água para regulagem lenta e rápida, para um ângulo de operação de 180°.

Figura 25 - Comparação entre curvas de distribuição de água para regulagem lenta e rápida, para um ângulo de operação de 90°.

Figura 26 - Comparação entre curvas de distribuição de água para regulagem lenta e rápida, para um ângulo de operação de 150° (1).

Figura 27 - Comparação entre curvas de distribuição de água para regulagem lenta e rápida, para um ângulo de operação de 150° (2).

4.6. Comparação entre formas de operação do canhão final através da eficiência de aplicação e eficiência de armazenamento.

Comparamos as eficiências, para duas percentagens da taxa de aplicação média sob o pivô. A lâminade aplicação média para o pivô em questão é de 4,7mm. As percentagens utilizadas foram de 0,7 (regiões áridas) e de 0,4 (regiões úmidas).

Para os ângulos de operação com maiores valores de eficiências apresentamos as Figuras 25 e 26 com as curvas de distribuição.

Tabela 4 - Eficiência de aplicação e armazenamento (%) para diferentes formas de operação do canhão final para $p = 0,7$.

p=0,7		BATIDA								Σ Ef
Angulo de Giro	LENTA	RAPID	LENTA	RAPID	LENTA	RAPID	LENTA	RAPID		
	Raio		Raio		Eficiência		Eficiência			
	Efetivo (m)		Molhado (%)		Aplicação		Armazenam.			
90+90	25,1	24,5	60,2	58,7	77	75	92	92	336	
90+75	27,2	26,4	65,2	63,3	81	80	89	91	341	
90+60	28,9	28,2	69,2	67,5	86	85	89	90	350	
90+45	30,2	29,9	72,3	71,6	88	87	87	87	349	
90+30	30,3	30,1	72,4	72,0	87	87	86	86	346	
90+15	27,9	26,5	66,8	63,5	83	79	88	90	340	

Tabela 5 - Eficiência de aplicação e armazenamento (%) para diferentes formas de operação do canhão final para $p = 0,4$.

p=0,4	BATIDA								Σ Ef
Angulo de giro	LENTA	RAPID	LENTA	RAPID	LENTA	RAPID	LENTA	RAPID	
	Raio		Raio		Eficiência		Eficiência		
	Efetivo (m)		Molhado (%)		Aplicação		Armazenam.		
90+90	33,1	32,8	79,1	78,4	93	91	83	83	350
90+7	33,7	33,3	80,6	79,7	94	94	83	83	354
90+60	34,3	33,7	82,0	80,8	96	96	83	84	359
90+45	34,8	34,4	83,3	82,0	97	96	82	83	358
90+30	35,3	34,7	84,4	83,1	97	97	81	82	357
90+15	35,1	34,4	84,0	82,3	97	96	82	82	357

Figura 28 - Curvas de distribuição de água do canhão final com vários ângulos de operação e regulação rápida.

Figura 29 - Curvas de distribuição de água do canhão final com vários ângulos de operação e regulação lenta.

Com relação às percentagens, observamos que, para $p = 0,4$ as eficiências de armazenamento são bem menores que as de aplicação. Entendemos que isto não é aconselhável, pois o risco de perda da cultura seria grande, mesmo com um equipamento deste porte em mãos.

Comparando as eficiências, utilizando a percentagem $p = 0,7$, observamos que as de aplicação são maiores na batida lenta, devido ao aumento do raio efetivo. As eficiências de armazenamento são maiores na batida

rápida, devido ao aumento da lâmina próximo ao canhão.

Os ângulos $90^\circ + 60^\circ$ e $90^\circ + 45^\circ$ é que apresentam maior uniformidade de aplicação ao longo do raio efetivo de alcance considerado, conforme observado nas figuras 28 e 29 e maiores valores de somatórias das eficiências.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados obtido nos ensaios de campo e através do programa de simulação, pode-se fazer várias comparações e chegar as seguintes conclusões:

- No ensaio estacionário do canhão final, a regulagem da batida rápida, proporciona um acréscimo na taxa de aplicação próxima ao canhão em relação a batida lenta.

- A comparação entre a curva simulada e a observada, numa condição de vento baixo ($< 3,0$ km/h), apresentou valores idênticos. Em condições de vento um pouco mais altas ($> 3,0$ km/h). Os resultados observados apresentaram valores de lâmina totalmente explicáveis pela ação do vento, que acabou modificando a configuração da curva em relação a simulada.

- Portanto, pode-se concluir que as curvas simuladas são satisfatórias, considerando-se que o efeito do vento é aleatório podendo ser minimizado adotando-se um esquema de operação alternado do Pivô de acordo com a recomendação de HART e HEERMANN.

- As curvas simuladas, obtidas em diferentes condições de velocidade de batida, não apresentam diferenças significativas. Na regulagem rápida, houve um acréscimo da lâmina próximo ao canhão, aumentando a eficiência de armazenamento. Na regulagem lenta houve um acréscimo no raio efetivo de alcance, aumentando a eficiência da aplicação.

- As curvas simuladas, obtidas em diferentes condições de ângulo de operação, demonstraram que os ângulos $90^{\circ} + 60^{\circ}$ e $90^{\circ} + 45^{\circ}$ resultam em perfis de aplicação mais uniformes, conforme análises das eficiências de aplicação e armazenamento.

- A metodologia adotada para obtenção das melhores condições de operação do canhão final, foi considerada satisfatória e recomenda-se a sua aplicação para diferentes combinações de bocais e pressões, buscando a melhor utilização do canhão final em sistemas de irrigação por Pivô Central.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Test procedure for determining the uniformity of waters distribution of center pivot, corner pivot, and moving lateral irrigation machines equipped with sroy or sprinkler nozzles. In: HAHN, R.H. & ROSENTERETER, E.. ASAE standards - 1986. 3ed. St. Joseph, ASAE, 1986. p.528-9.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Sistema de irrigação por Pivô Central : Caracterização de desempenho; método de ensaio. São Paulo, 1985. 20p. Projeto 12:02.08-005
- BEALE, J.G. & HOWELL, D.T. Relationships among sprinkler uniformity measures. Journal of the irrigation and Drainage Division, St. Joseph, 92 (IRID): 41-8, 1966.
- BERNUTH, R.D. Nozzling considerations for center pivots with end guns. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 26 (2): 419-22, 1983.
- BITTINGER, M.W. & LONGENBAUGH, R.A. Theoretical distribution of water from a moving irrigation sprinkler. Transactions of the ASAE, St. Joseph ,5(1): 26-30, 1962.
- BRIDI, S. Análise de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por Pivô Central. Viçosa, 1984. 49p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).
- CHRISTIANSEN, E.J. Irrigation by sprinkling. Berkeley, University of California Experiment Station, 1942. 124p.. (Bulletin, 670).
- EDLING, R.J. Center-pivot end gun irrigation cost analysis. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Baton Rouge, 115(5): 853-61, 1989.

- HEERMANN, D.F. & HEIN, P.R. Performance characteristics of self-propelled center pivot sprinkler irrigation system. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 2 (1): 11-5, 1968.
- HEERMANN, D.F. & KOHL, R.A. Fluid dynamics of sprinkler systems. In: JENSEN, M.E., ed. Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph, ASAE, 1983. p.608.
- JAMES, L.G. Modeling the performance of center pivot irrigation operating on variable topography. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 25(1): 143-9, 1982.
- KINCAID, D.C. & HEERMANN, D.F. Pressure distribution on a center-pivot sprinkler irrigation system. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 13(2): 556-8, 1970.
- LEME, E.J.A. Avaliação da uniformidade e eficiência da irrigação através dos modelos normal e linear. ITEM, Brasília, 27: 11-4, 1986.
- MATSURA, E.E. Eficiência de irrigação e uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por aspersão. Piracicaba, 1987. 124p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/ USP).
- MERRIAN, J.L. & KELLER, J. Farm irrigation system evaluation; a guide for management. 3 ed. Utah, Utah State University, 1978. 285p.
- RAPP, E.; CHANASYK, D.S.; HORVATH, B.C. Simulated model of center pivot sprinkler irrigation systems. Canadian Agricultural Engineering, Ottawa, 21: 141-45, 1979.
- ROLLAND, L. Mechanized sprinkler irrigation. Rome, FAO, 1982. 409p. (FAO Irrigated and Drainage Paper, 35).
- SATTO, J. Avaliação de desempenho dos aspersores. São Carlos, 1978. 77p. (Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos / USP).
- SOLOMON, K. & KODOMA, M. Center-Pivot end sprinkler pattern analysis and selection. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 21 (4): 706-12, 1978.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. National Engineering handbook. section 15 - Irrigation, Chapter 11 - Sprinkler irrigation, 1979.

APENDICE 1

PROGRAMA DE COMPUTADOR DA SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DO CANHAO
FINAL, OPERANDO NO PIVO CENTRAL, NA LINGUAGEM BASIC.

```

10 ! CENEA - "CANFIN"
20 ! DISCO no. 29 - ".DADO05"
30 ! COLOMBO JAN 1992
40 ! PROGRAMA PARA SIMULAR CANHAO EM PIVO CENTRAL CONF. S
    OLOMON & KODOMA 1978 .TRANS .ASAE
50 ! ENTRADA DE DADOS ATRAVES DE MATRIZES DE PERASPE EM "
    .DADO05"
60 OPTION BASE 10 DEG
70 DIM R(1,53),Q(1,53),S(1,53),L(1,60),C(1,60),H(15),F(8)

80 DIM A2$(6),A3$(8),A4$(12),A5$(8),A7$(8),A8$(4),C2$(6)
90 DIM B2$(40),B3$(40)
100 CLEAR @ DISP ,,"QUAL A DISTANCIA DA ULTIMA TORRE, EM
    M.";
110 INPUT DB
120 DISP ,,"QUAL A DISTANCIA DO CANHAO EM M.";
130 INPUT D9
140 DISP ,,"QUAL A VELOCIDADE DA ULTIMA TORRE M/H";
150 INPUT V1
160 DISP ,,"QUAL A LAMINA APLICADA NESTA VELOCIDADE ";
170 INPUT L1
180 DISP ,,"QUANTAS ANALISES DE EFICIENCIA (NAO= 0; MAX 8
    ) ";
190 INPUT N
200 FOR I=1 TO N
210 DISP ,,"QUAL A FRACAO (0<F<=1)",I;
220 INPUT F(I)
230 NEXT I
240 T=2*PI*DB/V1
250 L2=L1/T
260 V=V1*(D9/DB)
270 MAT R=ZERO MAT S=ZERO MAT Q=ZERO MAT L=ZER
280 CLEAR @ DISP ,,,,,,@ BEEP 30,100 @ DISP "QUAL O CODIG
    O DO ENSAIO ";@ INPUT C2$
290 ASSIGN# 1 TO C2$&".DADO05"
300 READ# 1 ; A2$,A3$,A4$,A5$,A7$,A8$,B1$,K,R(,),Q(,)
310 ASSIGN# 1 TO *
320 CLEAR @ DISP ,,,,,,@ DISP TAB(10);"A T E N C A O" @ D
    ISP ,,,,TAB(6);"LIGUE A IMPRESSORA"
330 DISP ,,,,TAB(6);"E PRESSIONE [ CONT ]" @ PAUSE
340 CLEAR
350 PRINTER IS 706,140
360 PRINT " "
370 PRINT TAB(45);"CENTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRICOLA
    " @ PRINT

```

```

380 PRINT TAB(19);"CAIXA POSTAL 568 - CEP 18001 - SOROCAB
A - SP -TEL (0152) 331333 - TELEX ";
390 PRINT "- (0152)227 CNEA BR"
400 PRINT @ PRINT TAB(35);"ANALISE DA DISTRIBUICAO DE AGU
A DE CANHAO EM PIVO CENTRAL" @ PRINT
410 PRINT @ PRINT TAB(22);"PERFIL ESTACIONARIO OBTIDO NO
ENSAIO ";A2$;" REALIZADO EM ";A3$;
420 PRINT " GRAVADO EM ";C2$ @ PRINT
430 PRINT TAB(5);"CANHAO ";A4$;" MODELO:";A5$;" BO
CAL ";A7$;" mm";
440 PRINT " PRESSAO NA BASE:";A8$;" Kpa";" VAZAO:";B1
$;" M3/H"
450 PRINT @ PRINT TAB(10);"INTENSIDADE DE APLICACAO -mm/h
)"
460 MAT PRINT USING 490 ; Q
470 PRINT @ PRINT TAB(10);"DISTANCIA DO ASPERSOR (m)"
480 MAT PRINT USING 490 ; R
490 IMAGE 53(2DZ.D,X)
500 PRINT @ PRINT TAB(51);"CARACTERISTICAS DO PIVO" @ PRI
NT
510 PRINT TAB(3);"R. ULT. TORRE (M): ";
520 PRINT USING 530 ; D8,"R. GIRO DO CANHAO (m):",D9,U,"
LAMINA (MM):",L1,"LAM/TG (MM/H):",L2
530 IMAGE 3D.D,2X,22A,1X,3D.D," VEL. DO CANHAO (M/H): ",
3D.DD,13A,1X,3D.3D,1X,14A,1X,Z.3D
540 PRINT @ PRINT
550 ! CLEAR @ DISP ,,,,,,@ DISP TAB(10);"A T E N C A O" @
DISP ,,,,TAB(6);"DESLIGUE A IMPRESSORA"
560 ! DISP ,,,,TAB(6);"E PRESSIONE [ CONT ]" @ PAUSE
570 CLEAR @ DISP "QUAIS OS ANGULOS POR QUADRANTE (A1,A2,A
3,A4, EM GRAUS)";@ INPUT A1,A2,A3,A4
580 K5=360/(A1+A2+A3+A4)
590 K7=2*PI*PI*R(1,K)*D9/(1000*T*VAL(B1$))
600 K8=1000*VAL(B1$)/(2*PI*PI*R(1,K)*D9)
610 FOR I=1 TO K
620 S(1,I)=Q(1,I)*K5
630 NEXT I
640 D2=-1*COS(90-A2)*R(1,K)
650 D3=-1*COS(90-A3)*R(1,K)
660 IF A1#0 THEN D1=R(1,K)
670 IF A1=0 THEN D1=0
680 IF A4#0 THEN D4=R(1,K)
690 IF A4=0 THEN D4=0
700 DISP ,TAB(5);"DISTANCIAS POSSIVEIS (M) : "
710 DISP "PARA FRENTE ";
720 IF A1#0 OR A4#0 THEN DISP USING 730 ; R(1,K) @ GOTO 7
50
730 IMAGE 10X,DDD.DD
740 BEEP @ BEEP @ DISP "ESTE ABSURDO EU NAO CALCULO " @ P
AUSE
750 DISP "PARA TRAZ : "
760 DISP USING 780 ; "NO SEGUNDO QUADRANTE";D2

```

```

770 DISP USING 780 ; "NO TERCEIRO QUADRANTE";D3
780 IMAGE 22A ,DDDD.DD
790 DISP ,, "QUAL O INICIO,QUAL O ACRESCIMO EM METROS ?";
800 DISP "   ATENCAO - CONSIDERE O SINAL NA SUA RESPOSTA"

810 INPUT D5,D6
820 PRINT @ PRINT USING 830 ; "PERFIL DE APLICACAO COM AN
GULO DE GIRO DE",A1+A2+A3+A4,A1,A2,A3,A4
830 IMAGE 20X,42A,3D," GRAUS, ASSIM DISTRIBUIDOS : A1= "2
D," A2=",2D," A3=",2D," A4=",2D
840 PRINT TAB(15);"CONSTANTE DE TRANSFORMACAO -.1000*Q/(P
1*2*PI*R*L)=",KB
850 B2$="DIST.   LAMINA   DIST.   F. P/A   TAXA"
860 B3$=" (M)      (MM)      (-)      (-)      (MM/H)"
870 PRINT @ PRINT USING 890 ; B2$,B2$,B2$
880 PRINT USING 890 ; B3$,B3$,B3$
890 IMAGE 5X,40A,3X,40A,3X,40A
900 J=1 @ W=1
910 D=D5+(J-1)*D6
920 V=V1*(D9+D)/D8
930 IF D>=0 THEN GOTO 1030
940 IF D<=D2 THEN L=0 @ GOTO 970
950 B=A2
960 GOSUB 2140
970 L(1,J)=L
980 IF A2=A3 THEN L=L(1,J) @ GOTO 1110
990 IF D<=D3 THEN L=0 @ GOTO 1110
1000 B=A3
1010 GOSUB 2140
1020 GOTO 1110
1030 IF D>=D1 THEN L=0 @ GOTO 1060
1040 B=A1
1050 GOSUB 1800
1060 L(1,J)=L
1070 IF A4=A1 THEN L=L(1,J) @ GOTO 1110
1080 IF D>=D4 THEN L=0 @ GOTO 1110
1090 B=A4
1100 GOSUB 1800
1110 L(1,J)=L(1,J)+L
1120 C(1,J)=D
1130 GOSUB 2310
1140 IF D>=MAX(D1,D4) THEN GOTO 1160
1150 J=J+1 @ GOTO 910
1160 IF W=6 THEN GOSUB 2310
1170 GOSUB 2310
1180 PRINT @ PRINT
1190 Z5=MIN(D2,D3)
1200 IF Z5#C(1,1) THEN GOTO 1710
1210 FOR F=1 TO J
1220 IF C(1,F)<=R(1,K) THEN YB=F
1230 NEXT F
1240 IF C(1,YB)=R(1,K) THEN S=0 @ GOTO 1290

```

```

1250 E1=(0-L(1,Y0))/(R(1,K)-C(1,Y0))
1260 C1=L(1,Y0)-E1*(D9+C(1,Y0))
1270 L2=D9+R(1,K)
1280 S=2*PI*(C1/2*(L2^2-(D9+C(1,Y0))^2)+E1/3*(L2^3-(D9+C(
1,Y0))^3))
1290 FOR F=1 TO Y0-1
1300 L4=D9+C(1,F)
1310 L5=D9+C(1,F+1)
1320 G4=L(1,F)
1330 G5=L(1,F+1)
1340 E1=(G5-G4)/D6
1350 C1=G5-L5*E1
1360 S=S+2*PI*(C1/2*(L5^2-L4^2)+E1/3*(L5^3-L4^3))
1370 NEXT F
1380 PRINT USING 1390 ; "ERRO VOLUMETRICO % =", (S/(1000*T
)-VAL(R1$))/VAL(R1$)*100
1390 IMAGE 25X,20A,2X,4Z.3D
1400 FOR I=1 TO N
1410 P=F(I)*L1
1420 S1=0 @ Y=0
1430 FOR F=1 TO J
1440 IF L(1,F)>=P THEN Y=F
1450 NEXT F
1460 IF Y=0 THEN E1=0 @ E2=0 @ L2=D9 @ GOTO 1660
1470 IF L(1,Y)=P THEN S1=0 @ L2=D9+C(1,Y) @ GOTO 1550
1480 X=D6-D6*(P-L(1,Y+1))/(L(1,Y)-L(1,Y+1))
1490 L2=D9+C(1,Y)+X
1500 G2=P
1510 G1=MIN(L1,L(1,Y))
1520 E1=(G2-G1)/X
1530 C1=G1-(D9+C(1,Y))*E1
1540 S1=2*PI*(C1/2*(L2^2-(D9+C(1,Y))^2)+E1/3*(L2^3-(D9+C(
1,Y))^3))
1550 FOR F=1 TO Y-1
1560 G4=MIN(L1,L(1,F))
1570 G5=MIN(L1,L(1,F+1))
1580 L4=D9+C(1,F)
1590 L5=D9+C(1,F+1)
1600 E1=(G5-G4)/D6
1610 C1=G5-L5*E1
1620 S1=S1+2*PI*(C1/2*(L5^2-L4^2)+E1/3*(L5^3-L4^3))
1630 NEXT F
1640 E1=S1/S
1650 E2=S1/((L2^2-(D9+C(1,1))^2)*PI*L1)
1660 E3=L2-D9
1670 E4=E3/R(1,K)*100
1680 PRINT USING 1700 ; F(I),E1,"EFIC.ARM.",E2,"R.IRRI.(M
)",L2,"RAIO ASP (M,%): ",E3,E4
1690 NEXT I
1700 IMAGE 5X,"EFIC.VOL.-P=",2(2X,Z.3D),2X,9A,2X,Z.3D,2X,
10A,2X,3D.2D,2X,16A,2(2X,2D.2D)
1710 CLEAR @ DISP ,,,,"DESEJA OUTRO ANGULO DE OPERACAO (S
/N)" @ INPUT M$

```

```

1720 IF POS("SN",M$)=0 THEN 1710
1730 IF M$="N" THEN 1750
1740 MAT S=ZERO MAT L=ZERO D=0 @ J=0 @ L=0 @ GOTO 570
1750 CLEAR @ DISP @ DISP @ DISP @ DISP " FIM
"

1760 BEEP @ BEEP @ BEEP
1770 END
1780 I *** CALCULO DA INTEGRACAO DO PRIMEIRO E QUARTO QUA
DRANTES*****
1790 I *** CALCULO DA MAIOR DISTANCIA E SUA PRECIPITACAO
*****
1800 IF B=90 THEN L2=R(1,K) @ P2=S(1,K) @ Y=K @ GOTO 1890

1810 L2=D/COS(B)
1820 IF L2>R(1,K) THEN L2=R(1,K) @ P2=S(1,K) @ Y=K @ GOT
O 1890
1830 IF L2<=R(1,1) THEN C=SQR(L2^2-D^2) @ L=C/V*S(1,1) @
GOTO 2130
1840 FOR I=K TO 1 STEP -1
1850 IF R(1,I)>=L2 THEN Y=I
1860 NEXT I
1870 P2=S(1,Y-1)-(L2-R(1,Y-1))*(S(1,Y-1)-S(1,Y))/(R(1,Y)-
R(1,Y-1))
1880 I **** CALCULO DA MENOR DISTANCIA E SUA PRECIPITACAO
****
1890 IF D<=R(1,1) THEN P1=S(1,1) @ X=1 @ GOTO 1950
1900 FOR I=K TO 1 STEP -1
1910 IF R(1,I)>=D THEN X=I
1920 NEXT I
1930 P1=S(1,X-1)-(D-R(1,X-1))*(S(1,X-1)-S(1,X))/(R(1,X)-R
(1,X-1))
1940 I *** INTEGRACAO NOS LIMITES D L2 *****
1950 IF Y-X=0 THEN C=SQR(L2^2-D^2) @ L=C/V*(P1+P2)/2 @ GO
TO 2130
1960 IF Y-X>1 THEN GOTO 2030
1970 IF D=R(1,X) THEN C=SQR(L2^2-D^2) @ L=C/V*(P1+P2)/2 @
GOTO 2130
1980 C=SQR(L2^2-D^2)
1990 C1=SQR(R(1,X)^2-D^2)
2000 L=(C-C1)/V*(P2+S(1,X))/2
2010 L=L+C1/V*(S(1,X)+P1)/2
2020 GOTO 2130
2030 C=SQR(L2^2-D^2)
2040 C1=SQR(R(1,Y-1)^2-D^2)
2050 L=(C-C1)/V*(P2+S(1,Y-1))/2
2060 FOR I=Y-1 TO X+1 STEP -1
2070 C=C1
2080 C1=SQR(R(1,I-1)^2-D^2)
2090 L=L+(C-C1)/V*(S(1,I)+S(1,I-1))/2
2100 NEXT I
2110 IF D=R(1,X) THEN GOTO 2130

```



```

2120 L=L+C1/V*(S(1,X)+P1)/2
2130 DISP D
2131 DISP L
2132 DISP L2
2133 DISP P2
2134 DISP Y
2135 DISP X
2136 DISP P1
2137 RETURN
2140 ! **** CALCULO DA LAMINA NO SEGUNDO E TERCEIRO QUADR
ANTES ***
2150 IF B#90 THEN 2200
2160 D=-D
2170 GOSUB 1780
2180 D=-D
2190 GOTO 2300
2200 C3=B
2210 B=90 @ D=-D
2220 GOSUB 1780
2230 L3=L
2250 B=90-C3
2260 GOSUB 1780
2270 L=L3-L
2290 D=-D
2300 RETURN
2310 ! **** SUB IMPRESSAO ****
2320 H(W)=D @ H(W+1)=L(1,J) @ H(W+2)=D/R(1,K)
2330 H(W+3)=L(1,J)*K7 @ H(W+4)=L(1,J)/T @ W=W+5
2340 IF W<15 THEN GOTO 2380
2350 W=1
2360 MAT PRINT USING 2370 ; COL H
2370 IMAGE 2X,3(3X,2D.2D,3X,2D.2D,3X,Z.3D,3X,2D.4D,3X,Z.4
D)
2380 RETURN

```

APÊNDICE 2

TABELAS DOS ENSAIOS ESTACIONÁRIOS DO CANHÃO FINAL

TABELA 2.1 - ÁGUA COLETADA

Batida Lenta

Aspersor : 1S-RL Bocalis : 17.8 mm Pressão de Base : 480 kPa

Vazão : 24.95 m³/h Vento Medio : 2.8 km/h (max 4.9 - min 0)

Espaçamento Entre Coletores : 8 X 8 m Tempo de Operação : 80 min

No. de Coletores : 147 Lamina Total : 853.8 Lamina Media : 4.4

DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO ↗

VOLUMES COLETADOS E LÂMINAS CORRESPONDENTES

VOL (cm ³)																	
LÂM (mm)																	
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	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
0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	7	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.6	0.9	0.1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	7	21	34	22	45	17	38	5	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0.8	2.7	4.3	2.8	6.7	2.2	4.8	0.8	0	0	0	0	0
0	0	0	0	11	33	35	54	44	44	43	27	37	15	0	0	0	0
0	0	0	0	1.4	4.2	4.4	8.9	6.8	6.8	6.5	3.4	4.7	1.8	0	0	0	0
0	0	0	5	34	82	45	42	48	37	45	37	30	28	2	0	0	0
0	0	0	0.6	4.3	7.9	6.7	6.3	6.8	4.7	6.7	4.7	3.8	3.8	0.2	0	0	0
0	0	0	30	37	44	44	42	55	51	45	38	44	29	38	0	0	0
0	0	0	3.8	4.7	5.8	6.8	6.3	7	8.6	6.7	4.8	5.8	3.7	4.8	0	0	0
0	0	1	48	29	42	50	47	57	52	48	43	40	32	38	0	0	0
0	0	0.1	6.1	3.7	5.3	6.4	8	7.2	8.8	6.8	6.6	6.1	4.1	4.8	0	0	0
0	0	2	30	38	50	47	54	51	52	51	42	38	40	32	2	0	0
0	0	0.2	3.8	4.8	6.4	8	8.8	8.6	8.8	8.6	6.3	6	6.1	4.1	0.2	0	0
0	0	8	48	44	43	43	53	37	37	51	44	44	38	28	8	0	0
0	0	0.8	5.8	6.8	6.5	6.5	8.7	4.7	4.7	8.5	6.8	6.8	4.8	3.3	0.8	0	0
0	0	3	47	55	39	44	42	51	48	40	44	43	40	40	3	0	0
0	0	0.4	8	7	6	6.8	6.3	8.6	8.1	6.1	6.8	6.6	6.1	6.1	0.4	0	0
0	0	0	42	40	42	40	44	44	42	48	45	38	39	28	0	0	0
0	0	0	6.3	6.1	6.3	6.1	6.8	6.8	6.3	6.8	6.7	4.8	6	3.3	0	0	0
0	0	0	12	39	37	38	44	44	48	41	39	48	51	8	0	0	0
0	0	0	1.6	6	4.7	4.8	6.8	6.8	6.8	6.2	6	6.8	8.6	0.8	0	0	0
0	0	0	0	7	44	50	39	44	42	38	49	38	17	0	0	0	0
0	0	0	0	0.8	6.8	6.4	6	6.8	6.3	4.8	8.2	4.8	2.2	0	0	0	0
0	0	0	0	0	5	30	37	49	35	54	23	17	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0.8	3.8	4.7	8.2	4.4	6.8	2.8	2.2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	8	5	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.9	1.1	0.8	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	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	0	0	0	0	0	0

+ Aspersor

TABELA 2.4 - ÁGUA COLETADA

Batida Rápida

Aspersor : SLR

Bocais : 17.8 mm

Pressão de Base : 480 kPa

Vazão : 24.95 m³/h

Vento Medio : 1.9 km/h (max 4.5 - min 0.1)

Espacamento Entre Coletores : 8 X 8 m

Tempo de Operação : 80 min

No. de Coletores : 148

Lamina Total : 895.7

Lamina Media : 4.7

DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO ↗

VOLUMES COLETADOS E LÂMINAS CORRESPONDENTES

VOL (cm ³)																	
LÂM (mm)																	
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	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
0	0	0	0	0	0	0	0	4	8	5	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1.1	0.8	0.1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	10	42	30	48	49	37	24	4	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1.3	5.3	3.8	5.8	6.2	4.7	3	0.5	0	0	0	0	0
0	0	0	0	12	27	34	52	38	44	48	42	40	13	0	0	0	0
0	0	0	0	1.5	3.4	4.3	6.8	4.9	5.8	6.1	5.3	5.1	1.8	0	0	0	0
0	0	0	7	30	32	33	40	40	40	40	45	38	42	4	0	0	0
0	0	0	0.9	3.8	4.1	4.2	5.1	5.1	5.1	5.1	5.7	4.8	5.3	0.8	0	0	0
0	0	0	28	48	50	38	44	54	53	51	44	44	38	31	0	0	0
0	0	0	3.3	6.2	6.4	4.8	5.8	8.9	8.7	8.6	5.8	5.8	4.8	3.9	0	0	0
0	0	3	42	35	37	48	47	54	52	51	51	42	50	34	1	0	0
0	0	0.4	5.3	4.4	4.7	5.8	8	8.9	8.8	8.6	8.6	5.3	6.4	4.3	0.1	0	0
0	0	7	44	40	40	58	53	74	85	52	51	41	45	54	4	0	0
0	0	0.8	5.8	5.1	5.1	7.4	8.7	9.4	8.3	6.8	6.6	5.2	5.7	8.9	0.6	0	0
0	0	3	32	45	49	51	53	77	85	54	52	45	39	35	8	0	0
0	0	0.4	4.1	5.7	6.2	6.6	8.7	8.8	8.3	8.8	8.8	5.7	5	4.4	1.1	0	0
0	0	3	38	40	44	53	53	54	54	49	50	45	48	48	2	0	0
0	0	0.4	4.8	5.1	5.8	6.7	6.7	6.9	6.9	6.2	6.4	5.7	5.8	6.1	0.2	0	0
0	0	0	22	38	50	44	48	54	58	54	48	47	47	31	0	0	0
0	0	0	2.8	4.8	6.4	5.8	6.1	6.9	7.1	6.9	6.1	8	8	3.9	0	0	0
0	0	0	8	32	40	58	44	49	42	48	38	49	41	10	0	0	0
0	0	0	0.8	4.1	5.1	7.1	5.8	6.2	5.3	6.1	4.8	6.2	5.2	1.3	0	0	0
0	0	0	0	15	31	58	40	43	38	50	38	45	10	0	0	0	0
0	0	0	0	1.8	3.8	7.1	5.1	5.6	4.8	6.4	4.8	5.7	1.3	0	0	0	0
0	0	0	0	0	2	17	43	38	43	31	34	5	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0.2	2.2	5.6	4.8	5.6	3.9	4.3	0.8	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	2	3	8	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	1.0	0.1	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	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	0	0	0	0	0	0	0

+ Aspersor

TABELA 2.5 - ÁGUA COLETADA

Batida Rápida

Aspersor : 1S-RL Bocalis : 17.8 mm Pressão de Base : 400 kPa

Vazão : 23.20 m³/h Vento Medio : 1.5 km/h (max 5.8 - min 0)

Espacamento Entre Coletores : 8 X 8 m Tempo de Operação : 80 min

No. de Coletores : 120 Lamina Total : 832.7 Lamina Media : 5.3

DIREÇÃO PREDOMINANTE DO VENTO ↗

VOLUMES COLETADOS E LÂMINAS CORRESPONDENTES

VOL (cm ³)																			
LÂM (mm)																			
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	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	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	0	0	0	0	0	28	40	45	40	37	19	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	3.8	5.1	5.7	5.1	4.7	2.4	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	35	38	48	49	37	45	48	55	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	4.4	4.8	8.1	8.2	4.7	5.7	8.1	7	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	31	48	45	38	43	43	37	43	40	30	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	3.8	5.8	5.7	4.8	5.5	5.5	4.7	5.5	5.1	3.8	0	0	0	0	0	0
0	0	0	28	43	47	41	47	48	55	45	39	42	42	11	0	0	0	0	0
0	0	0	3.8	5.5	8	5.2	8	8.2	7	5.7	5	5.3	5.3	1.4	0	0	0	0	0
0	0	0	20	48	38	48	44	53	51	50	45	41	37	44	0	0	0	0	0
0	0	0	2.5	8.2	5	8.1	5.8	8.7	8.5	8.4	5.7	5.2	4.7	5.8	0	0	0	0	0
0	0	0	33	44	40	49	50	51	80	52	54	48	44	37	0	0	0	0	0
0	0	0	4.2	5.8	5.1	8.2	8.4	8.5	7.8	8.8	8.8	5.8	5.8	4.7	0	0	0	0	0
0	0	0	38	40	42	53	51	59	82	52	48	42	47	33	0	0	0	0	0
0	0	0	4.8	5.1	5.3	8.7	8.5	7.5	7.8	8.8	8.1	5.3	8	4.2	0	0	0	0	0
0	0	0	38	51	37	45	48	52	50	52	47	49	41	38	0	0	0	0	0
0	0	0	4.8	8.5	4.7	5.7	5.8	8.8	8.4	8.8	8	8.2	5.2	4.8	0	0	0	0	0
0	0	0	17	43	40	38	45	55	52	45	41	45	38	8	0	0	0	0	0
0	0	0	2.2	5.5	5.1	4.8	5.7	7	8.8	5.7	5.2	5.7	4.8	1.0	0	0	0	0	0
0	0	0	38	35	44	38	38	37	35	44	44	25	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	4.8	4.4	5.8	4.8	4.8	4.7	4.4	5.8	5.8	3.2	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	34	47	37	40	32	50	34	37	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	4.3	8	4.7	5.1	4.1	8.4	4.3	4.7	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	8	41	51	35	35	10	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0.8	5.2	8.5	4.4	4.4	1.3	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	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	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	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

+ Aspersor

APENDICE 3

PLANILHAS DOS ENSAIOS COM O CANHÃO FINAL

OPERANDO NO PIVO CENTRAL

Dist(m)	LE	LM	LD
-10,5	38	43	42
- 8,5	48	51	54
- 6,5	41	48	51
- 4,5	39	42	44
- 2,5	28	27	34
- 0,5	31	34	33
1,5	32	37	38
3,5	42	44	46
5,5	46	42	42
7,5	45	43	49
9,5	41	42	44
11,5	45	45	48
13,5	44	44	43
15,5	35	36	44
17,5	36	38	43
19,5	36	43	41
21,5	31	41	39
23,5	32	41	40
25,5	34	25	31
27,5	30	30	27
29,5	26	24	29
31,5	16	14	14
33,5	11	10	09
35,5	05	02	05
37,5	01	01	02
39,5	00	01	01
41,5	00	00	00

Velocidade do Vento

Início - 0,6 m/s

Meio - 1,3 m/s

Fim - 0,3 m/s

Média - 0,73m/s - 2,6km/h

Ângulo de Operação do canhão de 180°

Batida Lenta

$$\text{Velocidade (100\%)} = \frac{21}{7 \cdot 27''} = 169,1 \text{ km/hora}$$

Pressão = 460 KPa

Dist(m)	LE	LM	LD
-10,5	51	45	44
- 8,5	40	42	45
- 6,5	42	43	47
- 4,5	00	00	00
- 2,5	00	00	00
- 0,5	00	00	00
1,5	00	00	00
3,5	01	01	02
5,5	04	04	07
7,5	23	23	23
9,5	34	32	35
11,5	39	40	42
13,5	43	46	45
15,5	49	52	49
17,5	47	51	49
19,5	47	47	49
21,5	49	45	46
23,5	51	50	39
25,5	47	44	39
27,5	44	42	40
29,5	38	35	35
31,5	32	36	34
33,5	29	31	30
35,5	26	24	25
37,5	16	12	14
39,5	14	14	14
41,5	11	07	09
43,5	08	07	06
45,5	00	00	00

Velocidade do Vento

Início - 1,5 m/s

Meio - 1,2 m/s

Fim - 1,6 m/s

Média - 1,43m/s - 5,2km/h

Angulo de Operação do canhão de 150°

Batida Lenta

$$\text{Velocidade (100\%)} = \frac{21}{7,27''} = 169,13 \text{ km/hora}$$

Pressão = 460 KPa

OBS: Os testes foram realizados com o Pivo operando sem os últimos quatro sprays do balanço.

Dist(m)	LE	LM	LD
-10,5	44	42	42
- 8,5	42	41	43
- 6,5	47	48	43
- 4,5	43	43	37
- 2,5	38	43	39
- 0,5	29	32	32
1,5	17	20	19
3,5	15	14	17
5,5	00	00	00
7,5	01	01	01
9,5	06	04	03
11,5	13	11	08
13,5	23	18	15
15,5	27	26	22
17,5	29	34	31
19,5	42	43	37
21,5	55	57	64
23,5	66	69	73
25,5	68	81	80
27,5	83	88	88
29,5	76	66	52
31,5	49	44	40
33,5	32	31	33
35,5	22	20	24
37,5	12	13	11
39,5	08	07	09
41,5	01	01	01

Velocidade do Vento

Início - 2,5 m/s

Meio - 2,0 m/s

Fim - 2,5 m/s

Média - 2,33m/s - 8,4km/h

Ângulo de Operação do canhão de 90°

Batida Lenta

$$\text{Velocidade (100\%)} = \frac{20}{7'20''} = 163,7 \text{ km/hora}$$

Pressão = 460 KPa

Dist(Cm)	LE	LM	LD
-10,5	10	10	09
- 8,5	01	00	01
- 6,5	00	00	00
- 4,5	00	00	00
- 2,5	00	00	00
- 0,5	01	05	06
1,5	08	11	13
3,5	13	15	18
5,5	19	23	23
7,5	27	29	32
9,5	27	34	42
11,5	27	38	43
13,5	25	40	43
15,5	27	38	44
17,5	33	39	47
19,5	34	42	57
21,5	36	44	52
23,5	37	51	51
25,5	40	50	55
27,5	36	43	47
29,5	27	31	33
31,5	17	21	19
33,5	12	14	13
35,5	06	08	07
37,5	01	05	03
39,5	01	01	01
41,5	00	00	00

Velocidade do Vento

Início - 1,5 m/s

Meio - 0,5 m/s

Fim - 1,5 m/s

Média - 1,17m/s - 4,21m/h

Obs.: Direcao do vento muito variada durante o teste.

Início: π

Meio : +

Fim : π

Ângulo de Operação do canhão de 150°

Batida Lenta

$$\text{Velocidade (100\%)} = \frac{21}{7'40''} = 169,13 \text{ km/hora}$$

Pressão = 460 KPa

OBS: Os testes foram realizados com o Pivo operando sem os últimos quatro sprays do balanço.

Dist(m)	LE	LM	LD
-10,5	38	45	45
- 8,5	42	47	36
- 6,5	51	57	63
- 4,5	53	61	52
- 2,5	53	61	64
- 0,5	65	67	71
1,5	67	61	60
3,5	51	54	48
5,5	53	47	53
7,5	48	49	50
9,5	44	45	47
11,5	52	51	39
13,5	41	43	41
15,5	43	39	34
17,5	35	30	30
19,5	27	22	22
21,5	13	13	17
23,5	08	10	07
25,5	02	03	03
27,5	01	01	00
29,5	00	00	00

Velocidade do Vento

Início - 3,3 m/s

Meio - 3,6 m/s

Fim - 4,6 m/s

Média - 3,83m/s - 13,8km/h

Ângulo de Operação do canhão de 180°

Batida Rápida

$$\text{Velocidade (100\%)} = \frac{28}{10'02''} = 163,1 \text{ km/hora}$$

Pressão = 460 KPa

Dist(m)	LE	LM	LD
-10,5	47	45	42
- 8,5	43	42	41
- 6,5	48	45	46
- 4,5	41	39	38
- 2,5	45	45	41
- 0,5	47	46	43
1,5	52	451	47
3,5	46	43	41
5,5	48	46	42
7,5	51	49	49
9,5	54	53	47
11,5	56	50	53
13,5	54	50	48
15,5	49	55	51
17,5	49	47	48
19,5	33	33	44
21,5	23	24	27
23,5	14	16	19
25,5	05	05	05
27,5	01	02	02
29,5	01	01	01
31,5	00	00	00

Velocidade do Vento

Início - 3,5 m/s

Meio - 3,0 m/s

Fim - 3,5 m/s

Média - 3,33m/s - 12 km/h

Ângulo de Operação do canhão de 150°

Batida Rápida

$$\text{Velocidade (100\%)} = \frac{21}{7'42''} = 163,64 \text{ km/hora}$$

Pressão = 460 KPa

Dist(m)	LE	LM	LD
-10,5	09	09	08
- 8,5	03	03	04
- 6,5	00	00	00
- 4,5	00	00	01
- 2,5	00	00	03
- 0,5	01	05	12
1,5	10	12	16
3,5	17	24	14
5,5	28	31	35
7,5	29	33	42
9,5	37	37	41
11,5	34	34	39
13,5	41	37	37
15,5	44	44	35
17,5	40	46	43
19,5	47	52	49
21,5	49	48	53
23,5	50	54	38
25,5	43	44	47
27,5	41	43	34
29,5	33	40	36
31,5	32	36	34
33,5	26	24	25
35,5	21	23	22
37,5	16	16	16
39,5	10	08	09
41,5	03	05	04
43,5	01	01	01
45,5	00	00	00

Velocidade do Vento

Início - 2,0 m/s

Meio - 2,5 m/s

Fim - 2,7 m/s

Média - 2,4m/s - 8,64km/h

Ângulo de Operação do canhão de 150°

Batida Rápida

$$\text{Velocidade (100\%)} = \frac{21}{7,27''} = 169,13 \text{ km/hora}$$

Pressão = 460 KPa

OBS: Os testes foram realizados com o Pivo operando sem os últimos quatro sprays do balanço.

Dist(m)	LE	LM	LD
-10,5	37	37	37
- 8,5	38	39	36
- 6,5	37	40	39
- 4,5	39	41	37
- 2,5	37	35	33
- 0,5	27	29	26
1,5	20	21	16
3,5	13	13	14
5,5	00	00	00
7,5	03	04	05
9,5	12	17	17
11,5	28	31	32
13,5	31	38	38
15,5	39	42	44
17,5	49	52	57
19,5	67	73	79
21,5	77	87	100
23,5	91	93	96
25,5	97	89	94
27,5	74	73	58
29,5	45	37	29
31,5	18	16	09
33,5	07	06	05
35,5	08	04	06
37,5	01	01	01
39,5	00	00	00

Velocidade do Vento

Início - 3,5 m/s

Meio - 3,0 m/s

Fim - 3,0 m/s

Média - $3,17 \text{ m/s} = 11,4 \text{ km/h}$

Ângulo de Operação do canhão de 90°

Batida Rápida

$$\text{Velocidade (100\%)} = \frac{21}{7,26''} = 169,51 \text{ km/hora}$$

Pressão = 460 KPa