

ME-UFRGS-IPH
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

MODELO PARA ESTIMATIVA DE DISTRIBUIÇÃO
DA ÁGUA POR ASPERSORES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

MODELO PARA ESTIMATIVA DE DISTRIBUIÇÃO
DA ÁGUA POR ASPERSORES

GUILHERME XAVIER DE MIRANDA JUNIOR

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre, Setembro de 1994

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Flávio Antônio Cauduro da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

O autor agradece a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial :

Ao Prof. Flávio Antônio Cauduro pela orientação, apoio e amizade;

Ao Prof. Lawson F. S. Beltrame pela amizade e apoio no empréstimo do equipamento anemômetro para a realização deste trabalho;

Ao corpo administrativo e funcionários do IPH, em especial à Secretária do Curso de Pós-Graduação Sr^a Lygia Ourives Campos e a Bibliotecária Sr^a Jussara Silva;

Ao Sr. Arno Bernert da Empresa Plona Equipamentos Industria de Componentes Mecânicos LTDA, por terem cedido os equipamentos para a realização deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina pela possibilidade de utilização de suas estruturas para os ensaios;

Ao Prof. David José Miquelluti pelas orientações nas análises estatísticas e sugestões oferecidas;

Ao Prof. Rubens Duarte Coelho da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo pelo auxílio na elaboração do "software" de sobreposição dos aspersores;

Aos colegas Luis Carlos Brusa, Eduardo Sávio R. Martins e Gilberto Mobüs pelo incentivo e colaboração durante a realização deste trabalho.

E finalmente, aos meus familiares, em especial à minha noiva Cristina Pandolfo pelo incentivo, apoio e dedicação nos momentos mais difíceis desta caminhada; à meus pais Guilherme Xavier de Miranda e Odila Godofredo de Miranda (in memoriam), por terem orientado em meus passos quando necessário e a Euclides Pandolfo (in memoriam) e Eni Comel Pandolfo por terem me acolhido como um filho durante este trabalho.

Dedico à todos os meus entes
queridos que não se encontram
mais neste plano.

RESUMO

A irrigação vem sendo empregada para melhorar a produção das espécies cultivadas no mundo, com o objetivo de fornecer água às plantas quando a precipitação natural não é disponível ou suficiente. Existem diferentes métodos de irrigação entre os quais o método da aspersão. Através de modelos matemáticos pode-se simular um sistema de irrigação por aspersão, desde a sua captação, condução da água em canais e/ou tubulações até a sua saída para o aspersor. A partir deste ponto é possível simular a distribuição de água do aspersor com dados fornecidos pelos fabricantes. Este trabalho de pesquisa teve como meta geral o desenvolvimento de um modelo matemático para estimativa de valores de distribuição de água em irrigação por aspersão, a partir das características operacionais dos aspersores. O experimento foi conduzido no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Agronomia do Centro de Ciências Agroveterinárias (Lages/SC) da Universidade do Estado de Santa Catarina, determinando-se as características operacionais e de distribuição de água dos aspersores. No desenvolvimento do modelo empregou-se o método de Runge-Kutta de quarta ordem para resolução das equações diferenciais de movimento da gota d'água no ar. Com os resultados obtidos concluiu-se que o coeficiente de descarga do aspersor é o parâmetro que apresenta a maior interferência no modelo de distribuição, e o modelo pode ser adequado a determinados aspersores e pressões de serviço.

ABSTRACT

Irrigation is used to improve the production of cultivated species throughout the world by supplying water to plants when natural rainfall is unavailable or insufficient. Among the different irrigations methods is aspersion or sprinklers. Using mathematical models, it is possible to simulate a sprinkler irrigation system all the way, from its intake, water transport by canals and or pipes to its exit at the sprinkler. From this point on it is possible to simulate water distribution by sprinkler using data supplied by the manufacturers. The general aim of this research study was to develop a mathematical model to estimate water distribution values in sprinkler irrigation based on the operational characteristics of the sprinklers. The experiment was performed at the Hydraulics and Irrigation Laboratory of the Faculdade de Agronomia, Centro de Ciência Agroveterinárias (Lages/SC, Brazil), at the Universidade do Estado de Santa Catarina, determining the operational and distribution characteristics of the water from the sprinklers. The Runge-Kutta fourth order method to solve differential equations of water drop movement in the air was used to develop the method. The results obtained led to the conclusion that the sprinkler discharge coefficient is the parameter which interferes most in the distribution model, and the model can be fitted to given sprinklers and water pressures.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
SUMÁRIO	v
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE SÍMBOLOS	xxiii
1 - INTRODUÇÃO	01
2 - OBJETIVOS	03
3 - REVISÃO DE LITERATURA	04
3.1 - Fatores que afetam a Distribuição de Água.	05
3.1.1 - Fatores que influenciam o aspersor.	06
3.1.2 - Fatores que afeta o sistema de distribuição.	07
3.1.3 - Elementos climáticos.	09
3.1.4 - Fatores de manejo.	11
3.2 - Medição e Estimativas da Distribuição de Água.	12
3.2.1 - Método para estimativa da Uniformidade de distribuição de água.	12
3.2.1.1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).	15
3.2.1.2 - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).	16

3.2.1.3 -Coeficiente de Uniformidade HSPA (UCh).	17
3.3 - Modelo de Distribuição de Água de um Aspersor.	17
3.3.1 - Teoria Balística.	18
3.4 - Equações de Movimento.	23
4 - MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1 - Local do Experimento.	
4.2 - Aspersores ensaiados.	
4.3 - Ensaio de Vazão e Coeficiente de Descarga do Aspersor.	31
4.3.1 - Descrição da estrutura de ensaio e do material empregado.	31
4.3.2 - Metodologia do ensaio.	33
4.4 - Ensaio de Distribuição de Água do Aspersor.	35
4.4.1 - Descrição do equipamento e metodologia de ensaio.	35
4.4.2 - Processamento dos dados.	38
4.4.3 - Delineamento experimental.	38
4.5 - Modelo de Distribuição de Água.	39
4.5.1 - Modelo computacional.	39
4.5.2 - Resolução das equações de movimento.	40
4.5.3 - Cálculo do coeficiente de atrito.	41
4.5.4 - Análise de sensibilidade do modelo.	42
4.5.5 - Metodologia para estimativa da distribuição do tamanho de gotas.	42
4.5.6 - Simplificação do modelo.	47
4.5.7 - Metodologia de utilização do modelo.	47

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1 - Ensaio de Vazão e Coeficiente de Descarga do Aspersor.	50
5.2 - Ensaio de Distribuição de Água do Aspersor.	56
5.3 - Processamento dos Dados.	68
5.4 - Fatores estudados e o Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o Modelo PA-100.	71
5.4.1 - Interação Espaçamento x Bocal para o modelo PA-100.	72
5.4.2 - Interação Espaçamento x Pressão de serviço para o modelo PA-100.	75
5.4.3 - Interação Bocais x Pressão de serviço para o modelo PA-100.	79
5.5 - Fatores estudados e o Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o Modelo PA-150.	80
5.5.1 - Interação Espaçamento x Bocal para o modelo PA-150.	82
5.5.2 - Interação Espaçamento x Pressão de serviço para o modelo PA-150.	85
5.6 - Ajuste do Coeficiente de Atrito.	89
5.7 - Análise de Sensibilidade.	90
5.8 - Comparação da Distribuição da Precipitação Observada ao longo do raio de alcance do aspersor com os Dados gerados pelo Modelo.	93
5.9 - Comparação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição de CHRISTIANSEN (CUC) Observado com o gerado pelo Modelo.	102
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	108
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXO 01	A01
ANEXO 02	A05
ANEXO 03	A18

ANEXO 04

A22

ANEXO 05

A26

LISTA DE TABELAS

	Pg
Tabela 3.1- Espaçamento dos aspersores, em função do diâmetro de cobertura e da intensidade do vento.	08
Tabela 5.1- Valor real do diâmetro e o ângulo de inclinação de cada bocal dentro das repetições do aspersor PA-100.	50
Tabela 5.2- Valor real do diâmetro e o ângulo de inclinação de cada bocal dentro das repetições do aspersor PA-150.	51
Tabela 5.3- Resultados dos ensaios de vazão média(m ³ /h) dos aspersores marca Plona modelo PA-100.	51
Tabela 5.4- Resultados dos ensaios de vazão média(m ³ /h) dos aspersores marca Plona modelo PA-150.	51
Tabela 5.5- Coeficientes lineares e angulares da equação vazão x pressão de serviço dos aspersores marca Plona modelo PA-100.	52
Tabela 5.6- Coeficientes lineares e angulares da equação vazão x pressão de serviço dos aspersores marca Plona modelo PA-150.	52
Tabela 5.7- Resultados dos ensaios do coeficiente de descarga médio (-) dos aspersores marca Plona modelo PA-100.	56
Tabela 5.8- Resultados dos ensaios do coeficiente de descarga médio (-) dos aspersores marca Plona modelo PA-100.	56
Tabela 5.9- Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).	57

Tabela 5.10-Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).	58
Tabela 5.11-Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).	59
Tabela 5.12-Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).	63
Tabela 5.13-Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).	64
Tabela 5.14-Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).	65
Tabela 5.15-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para o modelo PA-100 Bocais 7 x 3 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.	68
Tabela 5.16-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para o modelo PA-100 Bocais 8 x 3 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.	68
Tabela 5.17-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para o modelo PA-100 Bocais 8 x 5 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.	69

Tabela 5.18-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para o modelo PA-150 Bocais 10 x 5 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.	69
Tabela 5.19-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para o modelo PA-150 Bocais 12 x 5 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.	69
Tabela 5.20-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para o modelo PA-150 Bocais 14 x 5 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.	70
Tabela 5.21-Análise de variância dos fatores espaçamento x bocal x pressão de serviço do aspersor modelo PA-100.	72
Tabela 5.22-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 7 x 3 mm do aspersor modelo PA-100.	73
Tabela 5.23-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 8 x 3 mm do aspersor modelo PA-100.	74
Tabela 5.24-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 8 x 5 mm do aspersor modelo PA-100.	75
Tabela 5.25-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 200 kPa do aspersor modelo PA-100.	76
Tabela 5.26-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 300 kPa do aspersor modelo PA-100.	77

Tabela 5.27-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 400 kPa do aspersor modelo PA-100.	78
Tabela 5.28-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 500 kPa do aspersor modelo PA-100.	78
Tabela 5.29-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação bocais x pressão de serviço de 200 kPa do aspersor modelo PA-100.	79
Tabela 5.30-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação bocais x pressão de serviço de 300 kPa do aspersor modelo PA-100.	79
Tabela 5.31-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação bocais x pressão de serviço de 400 kPa do aspersor modelo PA-100.	80
Tabela 5.32-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação bocais x pressão de serviço de 500 kPa do aspersor modelo PA-100.	80
Tabela 5.33-Análise de variância dos fatores espaçamento x bocal x pressão de serviço do aspersor modelo PA-150.	81
Tabela 5.34-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 10 x 5 mm do aspersor modelo PA-150.	83
Tabela 5.35-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 12 x 5 mm do aspersor modelo PA-150.	83
Tabela 5.36-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 14 x 5 mm do aspersor modelo PA-150.	84

Tabela 5.37-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 200 kPa do aspersor modelo PA-150.	85
Tabela 5.38-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 300 kPa do aspersor modelo PA-150.	86
Tabela 5.39-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 400 kPa do aspersor modelo PA-150.	87
Tabela 5.40-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 500 kPa do aspersor modelo PA-150.	88
Tabela 5.41-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados reais obtidos por CARVALHO (1991) e os dados simulados.	89
Tabela 5.42-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados reais obtidos por CARVALHO (1991) e os dados simulados para valores percentuais da velocidade inicial.	90
Tabela 5.43-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	96
Tabela 5.44-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	97

Tabela 5.45-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	97
Tabela 5.46-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	97
Tabela 5.47-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	98
Tabela 5.48-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	98
Tabela 5.49-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	102
Tabela 5.50-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	103

- Tabela 5.51-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. 103
- Tabela 5.52-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. 103
- Tabela 5.53-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. 104
- Tabela 5.54-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. 104

LISTA DE FIGURAS

	Pg
Figura 3.1- Distribuição espacial da precipitação(mm/h) para o aspersor PA-150 Bocal: 10 x 5 mm - Pressão 400 kPa.	13
Figura 4.1- Vista interna da instalação para o ensaio de vazão e coeficiente de descarga do aspersor.	32
Figura 4.2- Vista externa da instalação para o ensaio de vazão e coeficiente de descarga do aspersor.	32
Figura 4.3- Planta baixa da instalação para o ensaio de distribuição de água do aspersor.	36
Figura 4.4- Vista externa da instalação para o ensaio de distribuição de água do aspersor.	36
Figura 4.5- Trajetória da gota e diagrama em duas dimensões de uma gota individual.	40
Figura 4.6-Organograma de execução do trabalho de pesquisa	49
Figura 5.1- Curva característica vazão x pressão de serviço do aspersor Plona modelo PA-100, bocais: 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm.	53
Figura 5.2- Curva característica vazão x pressão de serviço do aspersor Plona modelo PA-100, bocais: 10x 5, 10 x 5 e 14 x 5 mm.	54
Figura 5.3- Curva do coeficiente de descarga x pressão de serviço do aspersor Plona modelo PA-100, bocais 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm.	55

Figura 5.4- Curva do coeficiente de descarga x pressão de serviço do aspersor Plona modelo PA-100, bocais 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm.	55
Figura 5.5- Distribuição da precipitação média ao longo do raio de alcance do aspersor modelo PA-100 - Bocal 7 x 3 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.	60
Figura 5.6- Distribuição da precipitação média ao longo do raio de alcance do aspersor modelo PA-100 - Bocal 8 x 3 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.	61
Figura 5.7- Distribuição da precipitação média ao longo do raio de alcance do aspersor modelo PA-100 - Bocal 8 x 5 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.	61
Figura 5.8- Distribuição da precipitação média ao longo do raio de alcance do aspersor modelo PA-150 - Bocal 10 x 5 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.	66
Figura 5.9- Distribuição da precipitação média ao longo do raio de alcance do aspersor modelo PA-150 - Bocal 12 x 5 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.	66
Figura 5.10- Distribuição da precipitação média ao longo do raio de alcance do aspersor modelo PA-150 - Bocal 14 x 5 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.	67
Figura 5.11- Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-100 - Bocal 7 x 3 mm.	A02

- Figura 5.12-Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-100 - Bocal 8 x 3 mm. A02
- Figura 5.13-Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-150 - Bocal 8 x 5 mm. A03
- Figura 5.14-Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-150 - Bocal 10 x 5 mm. A03
- Figura 5.15-Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-150 - Bocal 12 x 5 mm. A04
- Figura 5.16-Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTHIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-150 - Bocal 14 x 5 mm. A04
- Figura 5.17-Variação da distância percorrida pela gota d'água em relação a variação dos parâmetros do modelo. 91
- Figura 5.18-Variação da distância percorrida pela gota d'água em relação a variação dos parâmetros do vento no modelo. 93
- Figura 5.19-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm na pressão de 200 kPa. A06

- Figura 5.20-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm na pressão de 300 kPa. A06
- Figura 5.21-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm na pressão de 400 kPa. A07
- Figura 5.22-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm na pressão de 500 kPa. A07
- Figura 5.23-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm na pressão de 200 kPa. A08
- Figura 5.24-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm na pressão de 300 kPa. A08
- Figura 5.25-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm na pressão de 400 kPa. A09
- Figura 5.26-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm na pressão de 500 kPa. A09
- Figura 5.27-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm na pressão de 200 kPa. A10
- Figura 5.28-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm na pressão de 300 kPa. A10

- Figura 5.29-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm na pressão de 400 kPa. A11
- Figura 5.30-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm na pressão de 500 kPa. A11
- Figura 5.31-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm na pressão de 200 kPa. A12
- Figura 5.32-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm na pressão de 300 kPa. A12
- Figura 5.33-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm na pressão de 400 kPa. A13
- Figura 5.34-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm na pressão de 500 kPa. A13
- Figura 5.35-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm na pressão de 200 kPa. A14
- Figura 5.36-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm na pressão de 300 kPa. A14
- Figura 5.37-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm na pressão de 400 kPa. A15

- Figura 5.38-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm na pressão de 500 kPa. A15
- Figura 5.39-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm na pressão de 200 kPa. A16
- Figura 5.40-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm na pressão de 300 kPa. A16
- Figura 5.41-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm na pressão de 400 kPa. A17
- Figura 5.42-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm na pressão de 500 kPa. A17
- Figura 5.43-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-100 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. 96
- Figura 5.44-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. A19
- Figura 5.45-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. A19
- Figura 5.46-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. A20

Figura 5.47-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-150 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	100
Figura 5.48-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	A20
Figura 5.49-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	A21
Figura 5.50-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	A21
Figura 5.51-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo(simulada) e a observada à campo para os aspersores PA-100 e PA-150 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	101
Figura 5.52-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	A23
Figura 5.53-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	A23
Figura 5.54-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	A24
Figura 5.55-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.	A24

- Figura 5.56-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. A25
- Figura 5.57-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. A25
- Figura 5.58-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-100 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. 105
- Figura 5.59-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-150 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. 106
- Figura 5.60-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-100 e PA-150 para as pressões de 200,300,400,500 kPa. 107

LISTA DE SÍMBOLOS

A = área interna do bocal do aspersor (m^2);
A_p = área projetada da gota de água (m^2);
a = aceleração da gota (m/s^2);
C = coeficiente de descarga (-);
C_p = coeficiente de atrito (-);
C_n = coeficiente que a dimensão depende do valor de n;
C₂ = coeficiente de atrito modificado (m^{-1});
CUC = coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);
CUD = coeficiente de Uniformidade de Distribuição (%);
D = diâmetro da gota (mm);
d = plano de deslocamento zero (m);
def = deficit de pressão de vapor de água no ar (mmHg);
d_k = diâmetro de gota (m);
D_k = altura de água aplicada (m);
e = Algarismo neperiano;
F = força de lançamento da gota ($kg.m/s^2$);
f = aceleração de atrito (m/s^2);
fd_k = frequência relativa do volume (-);
Fd_k = frequência relativa do volume normalizada (-);
F_D = força de atrito (N);
g = aceleração da gravidade (m/s^2);
H = pressão de operação do bocal (mca);
h = altura da cultura (m);
h_i = nível inicial da cuba volumétrica (m);
h_f = nível final da cuba volumétrica (m);
k = constante de VON Karman (-);
M_D = massa da gota (kg);
m = massa da gota (kg);
Nd_k = número de gotas de tamanho d_k (-);
n = constante positiva (-);
Q_a = vazão da deriva do vento (m^3/s);
Q_e = vazão da evaporação (m^3/s);
Q_s ou Q_r = vazão real do aspersor (m^3/s);
Q_t = vazão teórica do aspersor (m^3/s);
R = resistência do ar ($kg.m/s^2$);
Rey = número de Reynolds (-);
S = seção do reservatório e cuba volumétrica - S = 6,83954 m²;
t = tempo de vôo da gota (s);
T_a = temperatura do termômetro de bulbo seco (K);
T_w = temperatura do termômetro de bulbo úmido (K);
UCh = coeficiente de Uniformidade HSPA (%);
V = velocidade da gota (m/s);
V_i = velocidade inicial da gota (m/s);
V_o = volume de água aspergida dentro da cuba volumétrica (m³);
V_{o1} = volume de água precipitado (m³);

V_x = velocidade resultante da gota (m/s);
 V_x = velocidade da gota na direção x (m/s);
 V_y = velocidade da gota na direção y (m/s);
 V_z = velocidade da gota na direção z (m/s);
x = coordenadas cartesianas no espaço (m);
y = coordenadas cartesianas no espaço (m);
z = coordenadas cartesianas no espaço (m);
 Z_o = parametro de rugosidade (m);
 \bar{W} = velocidade média do vento para a altura Z (m/s);
 W^* = velocidade de fricção (m/s);
 W_H = velocidade do vento para a altura H (m), (m/s);
 W_z = velocidade do vento para a altura Z (m), (m/s);
 W_2 = velocidade média do vento à 2 metros de altura (m/s);
 W_x = velocidade do vento na direção x (m/s);
 W_y = velocidade do vento na direção y (m/s);
 W_z = velocidade do vento na direção z (m/s);
 $\Delta \bar{d}_x$ = incremento do tamanho de gota (m);
 Δt = intervalo de tempo entre o nível inicial e final na cuba volumétrica (s);
 ρ_a = massa específica do ar (kg/m³);
 ρ_w = massa específica da água (kg/m³);
 ν = viscosidade cinemática do ar (m²/s);
 θ = ângulo em relação à horizontal (graus);
 X_i = precipitação no ponto i (mm);
 \bar{X} = precipitação média, considerando todos os pontos da grade (mm);
N = número de pontos da grade amostrada (-);
 \bar{y} = precipitação média de 25% do total da grade, com as menores precipitações (mm);
 S_x = desvio padrão da precipitação amostrada (mm).

1 - INTRODUÇÃO

A irrigação vem sendo empregada para melhorar a produção das espécies cultivadas no mundo, com o objetivo de fornecer água às plantas quando a precipitação natural não é disponível ou suficiente.

Existem diferentes métodos de irrigação, entre os quais o método por aspersão. Este método tem contribuído acentuadamente para o incremento de áreas irrigadas no Brasil devido a uniformidade de distribuição de água, eficiência de aplicação, controle da erosão e a possibilidade de ser empregado em diversos tipos de solo e relevo.

Observa-se que, em todo o território nacional, existe um grande número de empresas que produzem equipamentos de irrigação por aspersão; a maioria delas não possui um setor específico para testar e avaliar a aplicabilidade dos produtos que fabricam, limitando-se à reprodução de equipamentos importados ou nacionais. Devido a agricultura irrigada não ter tradição no Brasil, muitos técnicos dedicam seus trabalhos somente ao dimensionamento hidráulico dos projetos, deixando de lado o controle da irrigação e a avaliação periódica do desempenho do sistema em funcionamento.

Na maioria das vezes a distribuição da água do aspersor não é avaliada, não se conhecendo seu desempenho isolado e no

conjunto de irrigação. A partir da simulação é possível determinar alguns dos fatores que afetam a distribuição de água do aspersor, podendo-se verificar a sua funcionalidade em diversas condições de serviço. Assim, pode-se avaliar a distribuição de água de um ou vários aspersores conhecendo-se previamente as características operacionais dos mesmos.

Através da aplicação de modelos matemáticos pode-se simular um sistema de irrigação por aspersão, desde a sua captação, condução da água em canais e/ou tubulações até a sua saída para o aspersor. A partir deste ponto, é possível simular a distribuição de água do aspersor, gerenciando de forma mais eficiente um sistema global de irrigação por aspersão .

A partir de dados fornecidos pelo fabricante (vazão, pressão, diâmetro e ângulo de inclinação do bocal) pode-se estimar as características de distribuição de água. Entre estas características encontra-se o coeficiente de uniformidade de distribuição, perfil de distribuição, raio de alcance, área molhada e a eficiência do aspersor.

2 - OBJETIVOS

Este trabalho de pesquisa tem como meta geral o desenvolvimento de um modelo matemático para estimativa de valores de distribuição da água em irrigação por aspersão.

Foram traçados como objetivos específicos os seguintes itens:

- Determinação das características operacionais dos aspersores (pressão, vazão, rotação do aspersor, coeficiente de descarga dos bocais), bem como a avaliação e comparação das características de distribuição da água observada a campo e simulada pelo modelo;

- Aferição do modelo desenvolvido utilizando dados obtidos em literatura;

- Realização de uma análise de sensibilidade para os parâmetros envolvidos no modelo proposto (pressão, coeficiente de descarga e ângulo de inclinação dos bocais, velocidade e ângulo de incidência do vento, temperatura do ar).

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Entre as técnicas envolvidas na produção agrícola, a irrigação é uma das mais importantes, em razão de suprir água às plantas na quantidade necessária e no momento adequado.

Existem diferentes métodos de irrigação, entre os quais é citado a irrigação por aspersão. Este método consiste na aplicação da água sob a forma de chuva artificial, provocada pelo fracionamento do jato d'água em gotas que se espalham no ar e caem sobre a área a ser irrigada. O fracionamento é obtido através do escoamento da água sob pressão em pequenos orifícios ou bocais. A pressão é conseguida pela pressurização da água em canalizações até estruturas especiais para a pulverização do jato, os aspersores.

De acordo com BERNARDO (1989) e OLITTA (1989), os aspersores podem ser do tipo rotativo e estacionário. No caso dos rotativos, o movimento é produzido ou pelo impacto do jato d'água em um defletor, pela ação hidráulica sobre uma engrenagem, ou por reação do movimento da água. Qualquer que seja o método empregado, com exceção dos modelos de reação, os aspersores podem apresentar o giro completo (360°) ou serem setoriais, permitindo uma regulagem da amplitude de giro. O ângulo de inclinação do bocal com a horizontal varia em média trinta graus (30°). Aspersores de irrigação sub-copa indicados para pomares

apresentam ângulos de inclinação de quatro a sete graus (4 a 7°), permitindo a irrigação das árvores sem molhar a folhagem.

Os bocais do aspersor são peças que apresentam orifícios que são responsáveis pela vazão, pulverização do jato, distribuição, diâmetro de cobertura e tamanho de gotas quando operados em determinada pressão. Quanto ao número de bocais, a maioria dos aspersores possui um ou dois, podendo até apresentar três bocais. O diâmetro destes, são normalmente expressos em milímetros, e nos aspersores com dois bocais o menor é o que apresenta o menor raio de alcance. (BERNARDO, 1989; OLITTA, 1989).

3.1 - Fatores que afetam a Distribuição da Água

A eficiência de um sistema de irrigação por aspersão depende da uniformidade de distribuição da água e é influenciada por diversos fatores, que são agrupados da seguinte forma (PAIR, 1968):

- a) Fatores que afetam o aspersor: o diâmetro, ângulo de inclinação, pressão de operação, número e forma dos bocais, velocidade de rotação e a oscilação do braço do aspersor;
- b) Fatores que afetam o sistema de distribuição: espaçamento entre aspersores e linhas laterais, altura da haste do aspersor e a variação da pressão no sistema de irrigação;
- c) Elementos climáticos: velocidade e direção do vento, temperatura e o déficit de pressão de vapor d'água no ar;

d) Fatores de manejo: velocidade no qual as laterais se movimentam, alinhamento e a colocação das laterais, alinhamento dos aspersores com a vertical.

3.1.1 - Fatores que influenciam o aspersor:

a) Diâmetro do bocal: verifica-se que com aumento de diâmetro do bocal obtém-se melhor distribuição de água para uma dada pressão de operação, segundo BILANSKI e KIDDER (1958). Também verifica-se o aumento do raio de alcance do aspersor, o qual tende a produzir gotas maiores com menor influência do vento (CHRISTIANSEN, 1941; KOHL, 1974; PAIR, 1968; SEGINER, 1965). O aumento do diâmetro da gota poderá ocasionar problemas de erosão e encrostamento superficial do solo. KOHL (1974) conclui que o tamanho do bocal apresenta menor influência na distribuição do tamanho de gotas em comparação a pressão de operação do aspersor.

b) Ângulo de inclinação do bocal: o incremento de dez para trinta graus no ângulo de inclinação do bocal provoca um aumento do raio de alcance, além de promover melhor distribuição de água, segundo BILANSKI e KIDDER (1958).

c) Número e forma dos bocais: SEGINER (1965) declara que aspersores com um bocal podem produzir uma péssima distribuição de água, podendo ser corrigida com o uso de pino no bocal para a quebra do jato.

Um dos principais estudos desenvolvidos para verificar os efeitos do número e forma de bocais no desempenho de aspersores

rotativos foi realizado por BILANSKI e KIDDER (1958). Esses relatam que tanto o ângulo de convergência quanto o comprimento da parte cilíndrica do bocal afetam o alcance e a distribuição da água. Os resultados obtidos em condições controladas revelam que o aumento do ângulo de convergência proporcionou uma diminuição do raio do jato e do perfil de distribuição da água, sugerindo a redução da vazão (SCALOPPI et al., 1985).

d) Rotação do aspersor: de acordo com PAIR et al. (1969) apud SOARES (1986) a rotação do aspersor influencia a distribuição da água, sendo que o raio de alcance diminui com o incremento desta.

e) Pressão de operação do bocal: normalmente, os aspersores operam dentro de intervalos de pressões especificados pelos fabricantes. O aumento da pressão pode causar uma excessiva quebra do jato, ocorrendo um acúmulo de água próximo ao aspersor.

f) Oscilação do braço: o aumento da oscilação tem influência no decréscimo da quantidade de água depositada no ponto de máximo acúmulo d'água ao longo do raio de alcance (BILANSKI e KIDDER, 1958).

3.1.2 - Fatores que afetam o sistema de distribuição:

a) Espaçamento entre aspersores e linhas laterais: "a qualidade de uniformidade para um sistema fixo de aspersor depende fundamentalmente da medida de distribuição de água e do espaçamento dos aspersores" (KELLER, 1984). Na tabela 01

verifica-se a recomendação do espaçamento entre aspersores em função do diâmetro de cobertura e da velocidade do vento.

Tabela 3.1 - Espaçamento dos aspersores, em função do diâmetro de cobertura e da intensidade do vento.

Velocidade do vento (m/s)	Espaçamento em função do diâmetro de cobertura (%)
Sem vento	65 a 70
0.0 a 2.0	55 a 65
2.0 a 4.0	45 a 55
maior 4.0	30 a 45

(Fonte: BERNARDO, 1989).

b) Altura da haste do aspersor: de acordo com PAIR et al. (1969) apud SOARES (1986) a altura da haste do aspersor influencia a uniformidade de aplicação da água. Esta altura deve ser suficiente para que o jato proveniente do bocal do aspersor, não atinja a comunidade vegetal, devendo estar sempre acima dela. Existe um comprimento mínimo da haste do aspersor, segundo KELLER (1984), para evitar a turbulência da água que tende a reduzir o alcance do aspersor.

c) Variação da pressão no sistema de irrigação: a variação de pressão ao longo da linha principal e lateral pode influenciar significativamente a uniformidade de distribuição. O comprimento limite da linha lateral deve causar no máximo 20% da diferença de pressão entre o início e o fim desta, segundo BERNARDO (1989).

3.1.3 - Elementos climáticos:

a) Velocidade e direção do vento: de acordo com PAIR et all. (1969) apud SOARES (1986) o aumento da distorção na distribuição de água é afetado pelo maior velocidade do vento. Todavia, SEGNER (1963) conclui que a variação da direção do vento durante uma irrigação prolongada, normalmente tende a melhorar a distribuição da água.

A combinação da evaporação e a perda de água por deriva causada pelo vento reduz de 10 para 45% a uniformidade de distribuição na irrigação com aspersores, segundo CHRISTIANSEN (1941).

O efeito do vento pode ser minimizado pelo decréscimo do espaçamento entre aspersores e entre as linhas laterais. Para minimizar o efeito do vento deve-se adotar as seguintes recomendações (BERNARDO, 1989):

- diminuir o espaçamento entre aspersores aumentando a uniformidade de distribuição, porém aumenta a intensidade de aplicação;

- colocar as linhas laterais perpendiculares à direção predominante do vento;

- escolher aspersores com menor intensidade de aplicação, porém isto demanda maior tempo de funcionamento por posição para aplicar determinada lâmina d'água, e quanto maior for o tempo de funcionamento por posição, melhor será a uniformidade de distribuição.

b) Temperatura e déficit de pressão de vapor d'água no ar: com aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar obtém-se um acréscimo na perda por evaporação na irrigação (FROST e SCHWALEN, 1955).

Baseado nisto, DYLLA e SHULL (1983) quantificam a percentagem de água perdida por evaporação aérea e deriva causada pelo vento para diversos valores de umidade relativa do ar e velocidade do vento. Através da equação 01 tem-se a estimativa desta perda de água.

$$\% \text{ Perda} = \left[0.77 \times \text{def} \right] + \left[0.82 \times W_2 \right] - 1.3 \quad (01)$$

onde:

def = deficit de pressão de vapor de água no ar (mmHg);

W_2 = velocidade média do vento à 2 metros de altura (m/s).

Em trabalho conduzido por SEGNER et al. (1991) verifica-se uma outra expressão que quantifica a percentagem de água perdida pela evaporação e deriva do vento em relação a vazão obtida na superfície do terreno.

$$\left[\frac{Q_e + Q_d}{Q_s} \right] = 0.0322 \times e^{0.075 W_2} \left[T_a - T_w \right]^{0.69} \quad (02)$$

onde:

Q_d = vazão da deriva do vento (m^3/s);

Q_e = vazão da evaporação (m^3/s);

Q_s = vazão real do aspersor (m^3/s);

T_a = temperatura do termômetro de bulbo seco (K);

T_w = temperatura do termômetro de bulbo úmido (K);

W_2 = velocidade média do vento à 2 metros de altura (m/s).

3.1.4 - Fatores de manejo:

a) Velocidade de movimentação das linhas laterais: a diminuição do espaçamento entre as linhas laterais provoca o decréscimo no tempo de aplicação de determinada lâmina de água, como consequência, tem-se um aumento no número de posições a serem ocupadas pelas laterais.

b) Alinhamento das linhas laterais: normalmente, as linhas laterais devem ser dispostas paralelamente às curvas de nível do terreno, quando possível. Além disso, as laterais deverão ser dispostas perpendicularmente à direção predominante do vento (BERNARDO, 1989). O resultado provável desta medida é a diminuição da distância entre aspersores ao longo da linha lateral (SEGINER, 1963).

Entretanto, ALLISON e HESSE (1965) relatam uma ampla variação na eficiência de aplicação d'água quando as linhas laterais são colocadas perpendicularmente à direção predominante do vento.

c) Alinhamento do aspersor com a vertical: para prevenir vibrações que possam interferir na operação dos aspersores, suportes sólidos devem ser utilizados, promovendo uma perpendicularidade da haste do aspersor com o solo, PAIR et al. (1969) apud SOARES (1986).

3.2. - Medição e Estimativa da Distribuição da Água

3.2.1.- Métodos para estimativa da uniformidade de distribuição da água:

HART (1961), menciona a existência de dois tipos básicos de ensaio da distribuição espacial da água a partir de aspersores. O primeiro tipo de ensaio é aquele conduzido com vários aspersores operando simultaneamente dentro de um espaçamento estudado: as precipitações obtidas na área amostrada são consideradas diretamente no cálculo do coeficiente de uniformidade. A segunda maneira de realizar um ensaio de distribuição é à campo com um único aspersor. As precipitações obtidas nos coletores são sobrepostas seguindo uma lógica matricial, podendo simular diversos espaçamentos entre aspersores. O ensaio utilizando um só aspersor é mais versátil e econômico.

Os resultados dos dois tipos de ensaio descritos em duas situações diferentes foram comparados por BRANSCHIED e HART (1968). A primeira consistia em uma linha lateral com 13 aspersores igualmente espaçados e a segunda com um único aspersor. Cada situação era operada independentemente, todavia em condições climáticas semelhantes, sendo os ensaios realizados simultaneamente. Com os resultados obtidos em ambas situações, efetuaram-se os cálculos de sobreposição para os espaçamentos desejados, obtendo-se valores próximos de volumes totais coletados, mostrando que o procedimento da justaposição é válido.

No trabalho desenvolvido por GRIFFIN (1978) citado por CHEN

e WALLENDER (1984) foi utilizado o perfil de distribuição de água de um único aspersor, obtido com coletores dispostos radialmente para simular um ensaio de campo. A grade de coletores foi gerada através da rotação do perfil de distribuição em torno do eixo de rotação do aspersor. Os pontos da grade que não corresponderam exatamente à distância real ao longo do ensaio radial, foram interpolados linearmente. Com a grade obtida com um único aspersor, efetuaram-se as sobre-posições correspondentes aos espaçamentos desejados.

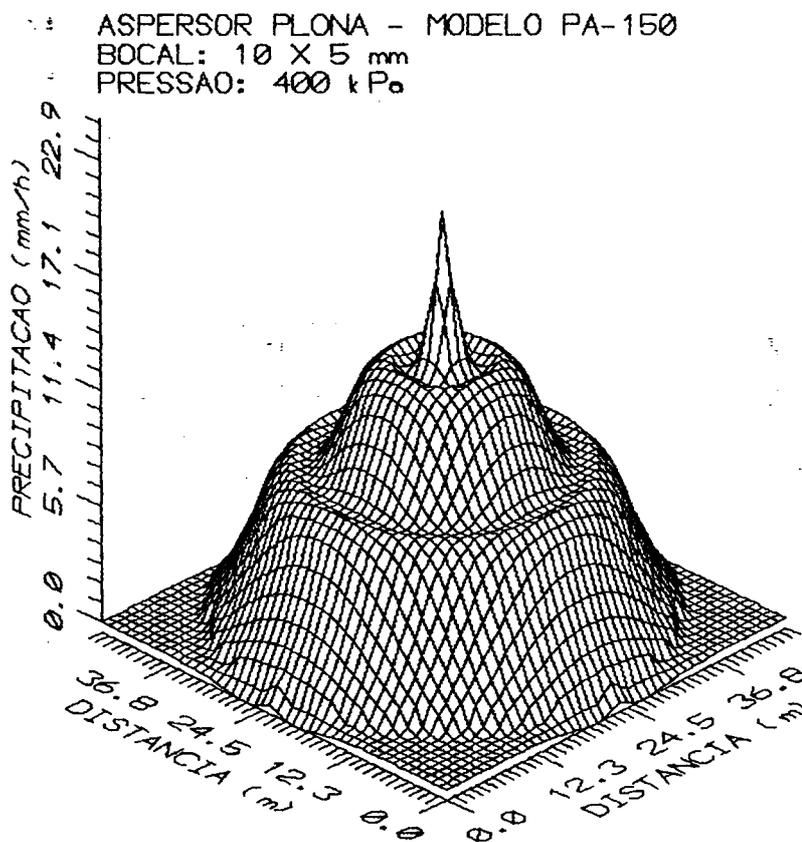


Figura 3.1 - Distribuição espacial da precipitação(mm/h) para o aspersor PA-150 Bocal: 10 x 5 mm - Pressão 400 kPa.

Segundo as Normas NBR 8989 (1985) da ABNT, os coletores instalados quadricularmente devem ter o número mínimo de 50 coletores recebendo água durante o ensaio. Com relação a duração do ensaio, estabeleceu-se que o período recomendável é de aproximadamente uma hora, desde que suficiente para proporcionar um volume médio de água nos coletores equivalente a uma lâmina de aplicação de 5 mm. No caso da utilização de somente um raio de coletores, a velocidade média do vento não deverá ultrapassar 1,6 km/h, durante um período de 3 minutos.

Os autores FISCHER e WALLENDER (1988) estudaram a variabilidade dos coeficientes de uniformidade, utilizando um ensaio radial em laboratório com um sistema de aquisição de dados automatizados.

Em pesquisa realizada sobre regulagens de aspersores por COELHO (1990), foram utilizados ensaios radiais em laboratório para estimativa da uniformidade de aplicação de água. Em outro trabalho desenvolvido por COELHO et al. (1992), observou-se existir uma elevada correlação entre as metodologias de ensaio em disposição radial e em disposição quadricular (índice de correlação $(R) \cong 0.99$) e que a disposição radial de coletores, devido a facilidade de instalação e economicidade, poderá viabilizar a realização de ensaios de uniformidade em laboratórios (ensaios "indoor"), na ausência total de vento.

Em estrutura desenvolvida pelo CENTRE NATIONAL DU MACHINISME AGRICOLE DU GENIE RURAL DES EAUX ET DES FORETS (1980) os coletores foram alinhados sobre um raio de um círculo irrigado. A

zona de observação é limitada a um setor circular que forma ao centro um ângulo de um grau e cinquenta minutos (1° 50'). Os coletores foram instalados neste setor a cada 0,5 m possuindo secção retangular com largura uniforme de 0,2 metros e comprimento crescente com o setor circular.

São muitos os índices desenvolvidos para medir a uniformidade de distribuição de água de acordo com os testes discutidos anteriormente. Os índices mais importantes são apresentados a seguir:

3.2.1.1 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

(CUC):

CHRISTIANSEN em 1941 foi o primeiro autor a estudar as características de distribuição de aspersores. Estabeleceu que o desvio médio é a medida de dispersão da distribuição, expresso pela seguinte equação:

$$CUC = 100 \cdot \left[\frac{1 - \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})}{N \cdot \bar{X}} \right] \quad (03)$$

onde:

X_i = precipitação no ponto i (mm);

\bar{X} = precipitação média, considerando todos os pontos da grade (mm);

N = número de pontos da grade amostrada (-).

Este coeficiente é empregado como "base para seleção da combinação de espaçamento, vazão, diâmetro do bocais e pressão de operação que resulta na maior uniformidade possível sob condições existentes de operação", de acordo com SOIL CONSERVATION SERVICE (1960), considerando-se coeficiente na ordem de 85% ou maior como "aceitáveis". Tanto CHRISTIANSEN (1965) e CORRY (1958) apud OLITTA (1989) consideram valores de 80% ou maior como aceitáveis.

No entanto, em trabalhos realizados sobre a redistribuição lateral da água abaixo da superfície do solo, relatam que a distribuição medida na superfície não é um bom indicador da produção de culturas. A partir do trabalho teórico desenvolvido por HART (1972), PAIVA (1980) desenvolveu um trabalho experimental sobre a redistribuição lateral da água abaixo da superfície do solo. PAIVA (1980) relata em seu trabalho que "não foi possível fixar os valores mínimos para os coeficientes de uniformidade de distribuição superficial, que forneçam um sistema o mais econômico possível sem contudo afetar o desenvolvimento da planta". PAIVA (1980) afirma que uniformidades superficiais em torno de $CUC = 6,12\%$ são inadmissíveis, entretanto uniformidades superficiais de $CUC = 69,34\%$ e $CUC = 60,39\%$ podem ser considerados como aceitáveis em termos de tensão de água no solo.

3.2.1.2 - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD):

BERNARDO (1989) utilizou este índice para estimar a uniformidade de distribuição, expressa pela seguinte equação:

$$CUD = 100 \cdot \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) \quad (04)$$

onde:

\bar{x} = precipitação média, considerando todos os pontos da grade (mm);

\bar{y} = precipitação média de 25% do total da grade, com as menores precipitações (mm).

3.2.1.3 - Coeficiente de Uniformidade HSPA (UCh):

HART (1961) assumiu que a água é distribuída normalmente pelo aspersor em condições de espaçamento regulares e definiu a seguinte expressão para calcular a uniformidade:

$$UCh = 100 \cdot \left[1 - \frac{0.798 \cdot S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \right] \quad (05)$$

onde:

\bar{x} = precipitação média, considerando todos os pontos da grade (mm);

$S_{\bar{x}}$ = desvio padrão da precipitação amostrada (mm).

3.3 - Modelo de Distribuição de Água de um Aspersor

Uma vez que o jato d'água parte do bocal do aspersor ocorre uma transformação em sua trajetória. O jato se expande e promove uma mistura de gotas de água e ar, tendo como consequência, o

decréscimo da velocidade de transporte e aumento do volume de ar no movimento. Em seu artigo, KOHL (1974) relata que a superfície do jato d'água encontra um grande diferencial de velocidade do ar em sua trajetória. Devido a isto ocorre uma desagregação do jato em pequenas gotas de diferentes diâmetros. Entretanto, a maneira na qual o jato emerge e se desagrega em gotas não está claramente compreendida; sabe-se que é função do número de Reynolds e Weber.

3.3.1 - Teoria Balística

O trabalho desenvolvido por BILANSKI e KIDDER (1958), determina os fatores que afetam a distribuição de água a partir de um aspersor rotativo do tipo impacto. Este trabalho foi conduzido em condições de laboratório para eliminar as variáveis climáticas. Verificou-se então que, conhecendo-se a velocidade de saída de uma gota a partir do bocal, o ângulo de saída com a horizontal, a altura do aspersor em relação ao solo, a resistência do ar e a aceleração da gravidade, é possível estimar a que distância do aspersor a gota tocará o solo.

BILANSKI e KIDDER (1958) a partir da segunda Lei de Newton, desenvolveram um modelo de trajetória balística de uma gota no ar para simular a distribuição de água em torno do aspersor em cada condição de trabalho, pois um estudo a campo dos fatores que influenciam a distribuição seria quase impossível. O modelo é expresso pela seguinte equação diferencial:

$$F = - R \quad (06)$$

onde:

F = força de lançamento da gota (kg.m/s²);

R = resistência do ar (kg.m/s²).

$$m \cdot a = - R \cos \theta \quad (07)$$

onde:

a = aceleração da gota (m/s²);

m = massa da gota (kg);

θ = ângulo em relação à horizontal (graus).

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = - R \cos \theta \quad (08)$$

onde:

m = massa da gota (kg);

R = resistência do ar (kg.m/s²);

t = tempo de vôo da gota (s);

x = coordenadas cartesianas no espaço (m);

θ = ângulo em relação à horizontal (graus).

$$R = m \cdot f \quad (09)$$

onde:

f = aceleração de atrito (m/s²);

m = massa da gota (kg);

R = resistência do ar (kg.m/s²).

SEGINER (1965) estudou a relação entre a aceleração de atrito e a velocidade da gota, e obteve a seguinte expressão:

$$f = C_n \cdot V^n \quad (10)$$

onde:

C_n = coeficiente que a dimensão depende do valor de n ;

f = aceleração de atrito (m/s^2);

n = constante positiva (-).

Neste trabalho o autor conclui que o valor de " n " deve ser igual ao valor 2, aperfeiçoando os valores obtidos por GREEN (1952). Foram determinados os valores de C_2 para gotas de tamanho entre 1.5 a 6.0 mm, utilizando os dados obtidos por LAWS (1941).

Tradicionalmente, o coeficiente de atrito modificado (C_2) é mencionado como uma função do número de Reynolds, porém outros autores tem considerado que C_2 é uma função do tamanho da gota. STILLMUNKES e JAMES (1982) desenvolveram uma equação para estimar a força de atrito:

$$F_d = M_d \times C_2 \times V^2 \quad (11)$$

onde:

C_2 = coeficiente de atrito modificado (m^{-1});

F_d = força de atrito (N);

M_d = massa da gota (kg);

V = velocidade da gota (m/s).

Esta mesma equação pode ser expressa da seguinte maneira:

$$F_D = \left[\frac{C_D \times \rho_a \times A_p \times V^2}{2} \right] \quad (12)$$

onde:

A_p = área projetada da gota de água (m²);
 C_D = coeficiente de atrito (-);
 F_D = força de atrito (N);
 V = velocidade da gota (m/s);
 ρ_a = massa específica do ar (kg/m³).

Substituindo a equação 11 pela equação 12 e isolando o coeficiente de atrito modificado (C_2), tem-se:

$$C_2(D) = \frac{3}{4} \times \left[\frac{\rho_a}{\rho_w} \right] \times \frac{1000 \times C_D}{D} \quad (13)$$

onde:

C_D = coeficiente de atrito (-);
 C_2 = coeficiente de atrito modificado (m⁻¹);
 D = diâmetro da gota (mm);
 ρ_a = massa específica do ar (kg/m³);
 ρ_w = massa específica da água (kg/m³).

Para a condição padrão de atmosfera (temperatura de 20° Celsius e pressão atmosférica de 101 kPa) a equação 13 pode ser reduzida para, segundo STILLMUNKES e JAMES (1982):

$$C_2 = \left[\frac{C_D}{1109 \times D} \right] \quad (14)$$

onde:

C_D = coeficiente de atrito (-);
 C_2 = coeficiente de atrito modificado (m⁻¹);
 D = diâmetro da gota (mm).

O C_2 pode ser obtido de diversas maneiras. Em trabalho elaborado por FUKUI et al. (1980) utilizou-se o número de Reynolds para a sua determinação, como mostrado nas equações abaixo:

$$\text{Se } \text{Rey} \leq 100 \text{ então } C_d = \left[\frac{33.3}{\text{Rey}} \right] - 0.0033 \times \text{Rey} + 1.2 \quad (15a)$$

$$\text{Se } 100 < \text{Rey} \leq 1000 \text{ então } C_d = \left[\frac{72.2}{\text{Rey}} \right] - 0.0000556 \times \text{Rey} + 0.48 \quad (15b)$$

$$\text{Se } \text{Rey} > 100 \text{ então } C_d = 0.45 \quad (15c)$$

onde:

C_d = coeficiente de atrito (-);
 Rey = número de Reynolds (-).

sendo:

$$\text{Rey} = \left[\frac{V D}{\nu} \right] \quad (16)$$

onde:

D = diâmetro da gota (mm);
 Rey = número de Reynolds (-);
 V = velocidade da gota (m/s);
 ν = viscosidade cinemática do ar (m^2/s).

Após este trabalho VON BERNUTH e GILLEY (1984) obtiveram valores de C_2 , para gotas de até 6 mm de diâmetro, utilizando-se dos dados fornecidos por LAWS (1941), GREEN (1952) e LIST (1966).

No trabalho desenvolvido por HILLS & GU (1989), através dos dados presentes no artigo de SEGINER (1965), obteve-se por regressão a seguinte expressão:

$$C_2 = 0.4671 \times D^{-0.9859} \quad (17)$$

onde:

C_2 = coeficiente de atrito modificado (m^{-1});
 D = diâmetro da gota (mm).

Empregando a idéia de SEGINER (1965), STILLMUNKES e JAMES (1982) trabalharam com equações de movimento das gotas de água para o estudo da energia de impacto destas no solo, empregando o método de Runge-Kutta de quarta ordem na resolução. Para o estudo da distribuição do tamanho de gotas VON BERNUTH e GILLEY (1984) utilizaram o mesmo método de Runge-Kutta de quarta ordem para resolver as equações diferenciais de movimento da gota no ar.

3.4 - Equações de Movimento

Quando o jato de água deixa o bocal do aspersor quebra-se em gotas individuais devido a fricção entre o ar e a água. Desta maneira cada gota pode ser tratada como um projétil. A trajetória de cada gota é influenciada pela velocidade inicial, gravidade e coeficiente de atrito do ar (VORIES e VON BERNUTH, 1986).

Empregando-se a segunda lei de movimento, pode-se desenvolver uma equação diferencial para descrever a trajetória da gota ao deixar o bocal do aspersor.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = - R \cos \theta \quad (18)$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} = - R \cos \theta \quad (19)$$

$$m \frac{d^2z}{dt^2} = m g - R \sin \theta \quad (20)$$

$$R = m \times f \quad (21)$$

onde:

f = aceleração de atrito (m/s²);
R = resistência do ar (kg.m/s²);
m = massa da gota (kg);
g = aceleração da gravidade (m/s²);
t = tempo de vôo da gota (s);
x = coordenadas cartesianas no espaço (m);
y = coordenadas cartesianas no espaço (m);
z = coordenadas cartesianas no espaço (m);
 θ = ângulo em relação à horizontal (graus).

Substituindo a equação 10 nas equações 18, 19 e 20 e solucionando os senos e cosenos com os respectivos componentes de velocidade tem-se:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = - C_2 V_r (V_x - W_x) \quad (22)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = - C_2 V_r (V_y - W_y) \quad (23)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} = - C_2 V_r (V_z - W_z) + g \quad (24)$$

onde:

C_2 = coeficiente de atrito modificado (m^{-1});

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

t = tempo de vôo da gota (s);

V_r = velocidade resultante da gota (m/s);

V_x = velocidade da gota na direção x (m/s);

V_y = velocidade da gota na direção y (m/s);

V_z = velocidade da gota na direção z (m/s);

x = coordenadas cartesianas no espaço (m);

y = coordenadas cartesianas no espaço (m);

z = coordenadas cartesianas no espaço (m);

W_x = velocidade do vento na direção x (m/s);

W_y = velocidade do vento na direção y (m/s);

W_z = velocidade do vento na direção z (m/s).

$$V_r = \sqrt{ \left(V_x - W_x \right)^2 + \left(V_y - W_y \right)^2 + \left(V_z - W_z \right)^2 } \quad (25)$$

onde:

V_r = velocidade resultante da gota (m/s);

V_x = velocidade da gota na direção x (m/s);

V_y = velocidade da gota na direção y (m/s);

V_z = velocidade da gota na direção z (m/s);

W_x = velocidade do vento na direção x (m/s);

W_y = velocidade do vento na direção y (m/s);

W_z = velocidade do vento na direção z (m/s).

Segundo NEVES (1989) a velocidade da água ao deixar um bocal é função da pressão do bocal e pode ser descrita a partir da seguinte equação:

$$V_i = C \sqrt{2 g H} \quad (26)$$

onde:

C = coeficiente de descarga (-);

g = aceleração da gravidade (m/s²);

H = pressão de operação do bocal (mca);

V_i = velocidade inicial da gota (m/s).

Neste caso o jato de água do aspersor não sofreu nenhum tipo de perturbação do defletor ou braço, que segundo os autores, na realidade, desvia parte da água absorvendo inclusive uma fração de energia do jato.

Segundo VON BERNUTH e GILLEY (1984), existe pouca informação na literatura quantificando a fração de água desviada e a energia absorvida. Engenheiros de fábricas de aspersores supõem que em aspersores de tamanho médio, 15 % da vazão total é desviada e que 50 % da energia de velocidade é absorvida pelo defletor. Estes autores citam duas fontes na literatura: KOHL (1974) menciona que 51 % da energia é capturada e BEAN (1965) diz que, em condições de operação, 13.2 % da vazão é desviada pelo defletor, sendo que este valor pode variar entre 40 e 50 %, caso a frequência de interrupção do jato seja muito elevada. Um outro aspecto abordado é que a formação de gotas à partir do jato não ocorre a uma distância determinada. Gotas formadas próximas à superfície do

jato estão sujeitas a uma velocidade relativamente menor do que a média, gotas grandes e instáveis estão sujeitas a se quebrarem durante o movimento, afetando a exatidão das equações.

Estas mesmas equações de movimento foram empregadas por WILLIAMSON e THREADGILL (1974), FUKUI et al. (1980), VON BERNUTH e GILLEY (1984), SOARES (1986), VORIES, VON BERNUTH e MICKELSON (1987) e SEGNER, NIR e VON BERNUTH (1991) em seus trabalhos.

A velocidade do vento varia com a altura. De acordo com CHANG (1977) pode-se determinar a velocidade do vento a determinada altura empregando a seguinte equação:

$$W = \frac{W^*}{k} \ln \left(\frac{z - d}{Z_0} \right) \quad (28)$$

onde:

d = plano de deslocamento zero (m);

k = constante de VON Karman (-);

z = coordenadas cartesianas no espaço (m);

Z₀ = parametro de rugosidade (m);

W = velocidade média do vento para a altura Z (m/s);

W* = velocidade de fricção (m/s).

Visto que o valor de W* é independente da altura para uma dada situação adiabática, a velocidade do vento para determinada altura pode ser referenciada a outra velocidade do vento de uma altura conhecida através da seguinte equação:

$$W_z = W_H \left[\frac{\ln \left(\frac{z - d}{Z_0} \right)}{\ln \left(\frac{h - d}{Z_0} \right)} \right] \quad (29)$$

onde:

d = plano de deslocamento zero (m);

h = altura da cultura (m);

z = coordenadas cartesianas no espaço (m);

Z₀ = parametro de rugosidade (m);

W_H = velocidade do vento para a altura h (m), (m/s);

W_z = velocidade do vento para a altura Z (m), (m/s).

STANHILL (1969) estabeleceu uma relação entre plano de deslocamento zero (d) e a altura da vegetação (h), podendo ser estimada da seguinte forma:

$$\log d = \left[0.9793 \times \log h \right] - 0.1536 \quad (30)$$

onde:

d = plano de deslocamento zero (m);

h = altura da cultura (m).

O parâmetro de rugosidade (Z₀) pode ser relacionado com a altura da vegetação (h), segundo TANNER e PELTON (1960) através da seguinte relação:

$$\log Z_0 = \left(0.997 \log h \right) - 0.883 \quad (31)$$

onde:

h = altura da cultura (m);

Z_0 = parametro de rugosidade (m).

Se as condições iniciais de velocidade e posição da gota são fornecidas, pode-se solucionar numericamente as equações 22, 23 e 24 utilizando-se das equações 28, 29 e 30, obtendo-se a posição de determinada gota ao longo do tempo em sua trajetória.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - Local do Experimento

O experimento foi instalado nas dependências do Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina (Lages/ SC). Os ensaios de distribuição de água dos aspersores foram realizados em área adjacente à este. O local apresenta topografia plana, com cobertura parcial do solo com algumas espécies de gramíneas representado uma área de 750 m².

4.2 - Aspersores ensaiados

Foram utilizados dois modelos de aspersores da marca Plona, dentro de cada modelo foram ensaiados 3 bocais de diâmetros diferentes e para cada bocal, foram utilizadas 3 repetições.

Modelo: PA-100

Bocal 1 → 7,0 x 3,0 mm;

Bocal 2 → 8,0 x 3,0 mm;

Bocal 3 → 8,0 x 5,0 mm.

Modelo: PA-150

Bocal 1 → 10,0 x 5,0 mm;

Bocal 2 → 12,0 x 5,0 mm;

Bocal 3 → 14,0 x 5,0 mm.

4.3 - Ensaio de Vazão e Coeficiente de Descarga do Aspensor

4.3.1 - Descrição da estrutura de ensaio e do material empregado

Empregou-se um conjunto moto-bomba elétrico de 15 cv de potência, possuindo capacidade operacional de altura manométrica total de 780 kPa e vazão máxima de 52 m³/h, para elevação da água contida no reservatório até o aspensor.

O aspensor foi testado dentro de um reservatório de seção horizontal quadrada, ocupando o centro geométrico da largura. O reservatório construído em alvenaria possuía dimensões de 2,510 x 2,5141 metros e a base interna com 0,88 m de altura, apresentava-se interligado a uma cuba volumétrica menor para a medida do nível através de um linímetro de ponta elétrica, com dimensões de 1,218 x 0,44 m de base por 1,15 m de altura, conforme figura 4.1.

Uma campânula de aço, com diâmetro de 2,6 metros, foi disposta sobre o reservatório que servia como cuba volumétrica para a medida do volume de água aspergida contra a parede desta mesma campânula, conforme figura 4.2.

A pressão de operação do aspensor foi determinada no tubo de elevação, através de um manômetro metálico, tipo Bourdon, graduado de 0 a 7 kg/cm². O manômetro foi instalado depois do registro de gaveta, que tinha função de regulação da vazão para cada pressão de funcionamento do aspensor.



Figura 4.1 - Vista interna da instalação para o ensaio de vazão e coeficiente de descarga do aspersor.



Figura 4.2 - Vista externa da instalação para o ensaio de vazão e coeficiente de descarga do aspersor.

4.3.2 - Metodologia de ensaio

Instalou-se o aspersor a ser testado dentro do reservatório e acionou-se o conjunto moto-bomba com o registro de gaveta fechado. O registro foi aberto lentamente até obter-se a pressão de operação desejada do aspersor. Esta pressão foi determinada através do manômetro metálico com o aspersor trabalhando em pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa para cada repetição de bocal, perfazendo um total de 36 testes.

Determinou-se a leitura inicial da cuba volumétrica (h_i) através de um linímetro de ponta elétrica. Passado determinado intervalo de tempo (Δt), fez-se a leitura final na cuba (h_f). O volume de água aspergido foi calculado a partir da diferença de leituras e através da seção do reservatório e da cuba volumétrica ($S = 6,83954 \text{ m}^2$). A vazão real (Q_r) do aspersor foi determinada pela relação entre volume de água aspergido e o intervalo de tempo.

$$V_o = (h_i - h_f) \times S \quad (32)$$

onde:

h_i = nível inicial da cuba volumétrica (m);

h_f = nível final da cuba volumétrica (m);

S = seção do reservatório e cuba volumétrica - $S = 6,83954 \text{ m}^2$;

V_o = volume de água aspergida dentro da cuba volumétrica (m^3).

$$Q_r = \left[\frac{V_o}{\Delta t} \right] \quad (33)$$

onde:

Q_r - vazão real do aspersor (m^3/s);

V_o = volume de água aspergida dentro da cuba volumétrica (m^3);

Δt = intervalo de tempo entre o nível inicial e final na cuba volumétrica (s).

Na determinação do coeficiente de descarga (C), considera-se que o aspersor apresenta um comportamento semelhante a um bocal. Conhecendo-se a área interna do bocal (A) e a pressão na qual está operando, pode-se determinar a vazão teórica (Q_t) do aspersor. Relacionando-se com a vazão real (Q_r) obtida no experimento, determina-se o coeficiente de descarga (C), através da seguinte equação:

$$C = \left[\frac{Q_r}{Q_t} \right] \quad (34)$$

onde:

C = coeficiente de descarga (-);

Q_r - vazão real do aspersor (m^3/s);

Q_t - vazão teórica do aspersor (m^3/s).

$$C = \left[\frac{Q_r}{A \times \sqrt{2 g H}} \right] \quad (35)$$

onde:

A = área interna do bocal do aspersor (m^2);

C = coeficiente de descarga (-);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

H = pressão de operação do bocal (mca);

Q_r - vazão real do aspersor (m^3/s).

A rotação do aspersor (Rot) sobre o próprio eixo, foi determinada pela contagem do número de giros por unidade de tempo.

4.4 - Ensaio da Distribuição de Água do Aspersor

4.4.1 - Descrição do equipamento e metodologia de ensaio

Neste ensaio foi utilizada a mesma estrutura descrita no ensaio anterior. A diferença consistiu na presença de uma abertura na campânula de aço, uma porta de acesso. Esta abertura apresentava duas aletas as quais serviam para direcionar o fluxo de água saída do aspersor.

A zona de observação da distribuição da precipitação do aspersor foi limitada a um setor circular, que forma com o centro da campânula um ângulo de um grau e cinquenta minutos ($1^{\circ} 50'$). Os coletores foram instalados radialmente em área adjacente à este setor, possuindo uma seção retangular com largura uniforme de 0,2 metros e comprimento crescente com o setor circular. O espaçamento entre os coletores foi de 1,0 metro, sendo que o primeiro foi colocado à 2,0 metros do aspersor, cada coletor possuía um reservatório com capacidade de 5 litros, conforme figuras 4.3 e 4.4.

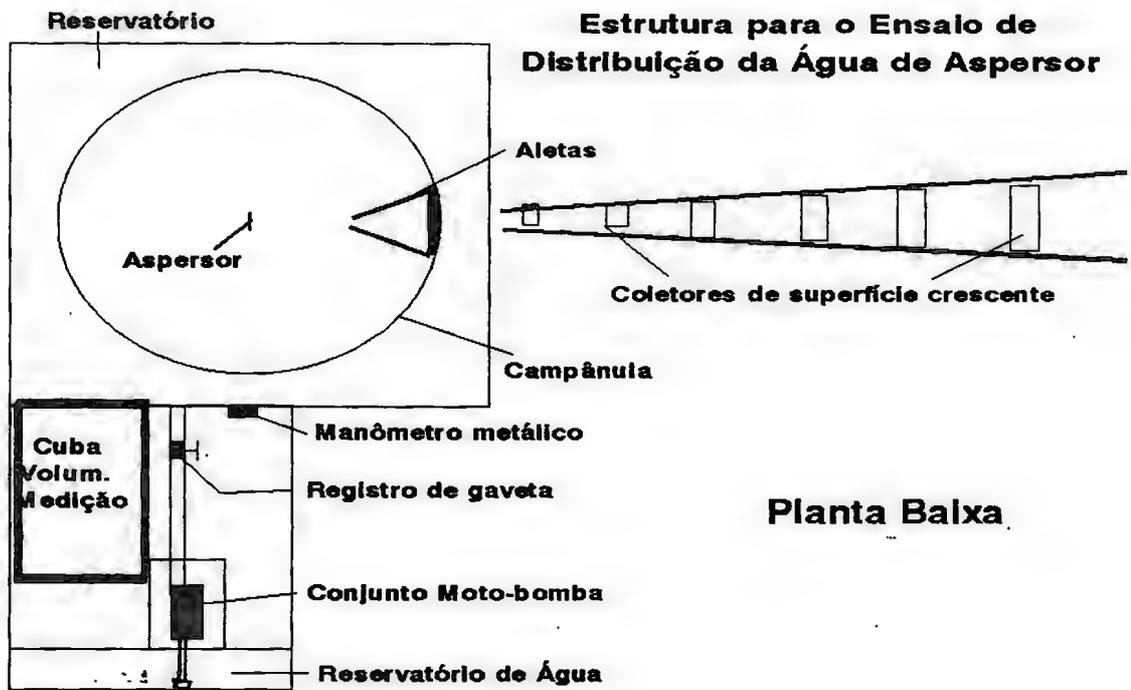


Figura 4.3 - Planta baixa da instalação para o ensaio de distribuição de água do aspersor.



Figura 4.4 - Vista externa da instalação para o ensaio de distribuição de água do aspersor.

Admitiu-se que o centro do eixo das coordenadas cartesianas (X, Y e Z) tivesse origem no centro do aspersor. Desta forma, o eixo cartesiano X passa sobre o centro do aspersor e situa-se perpendicularmente a disposição radial dos coletores. O eixo cartesiano Y situa-se paralelo à disposição radial dos coletores e o eixo cartesiano Z situa-se verticalmente aos coletores.

A duração do ensaio foi no mínimo de uma hora, sendo encerrado quando o jato de água estivesse na mesma posição de início, assegurando sua passagem em igual número de vezes em todas as direções, segundo Normas NBR 8989 (1985) da ABNT.

A ausência de vento foi a condição fundamental para que o ensaio se realizasse, não ocorrendo distorções no perfil de distribuição de água. Os testes foram feitos ao amanhecer e ao entardecer, horários em que se verificou a menor ocorrência de ventos.

A presença de vento foi detectada utilizando-se um anemômetro de conchas instantâneo, graduado de 0 a 30 m/s, instalado a 2,0 metros da superfície do solo em suporte metálico juntamente com psicrômetro e catavento.

As leituras no anemômetro instantâneo, psicrômetro e catavento foram realizadas com intervalo de tempo de 10 minutos. Com o catavento determinava-se o sentido e o ângulo de incidência do vento em relação a coordenada cartesiana X.

4.4.2 - Processamento dos dados

Conhecendo-se a seção de cada coletor e o volume coletado para determinado ensaio, obteve-se a altura de precipitação e o perfil de distribuição de água de cada aspersor testado.

Para a realização do processamento dos dados foi necessário o desenvolvimento de um "Software", que permitiu o processamento rápido e eficiente dos dados existentes. A listagem deste programa (CALUNI.BAS) pode ser verificada no anexo 05.

Fazendo-se uma revolução completa com o perfil de distribuição coletado no ensaio, simulou-se no computador uma grade composta de quadrículas de 1,0 x 1,0 m, considerando-se o aspersor localizado ao centro da quadricula, obtendo-se uma matriz de 45 x 45 elementos (2025 coletores simulados). Os coletores que caíram em posições não coincidentes com a do perfil coletado, tinham a sua precipitação estimada através de interpolação linear.

Com a grade simulada, pode-se calcular o Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN (1941) das grades sobrepostas nos espaçamentos retangulares de 6 x 6 , 6 x 12, 12 x 12, 12 x 18, 18 x 18, 18 x 24, 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m.

4.4.3 - Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com arranjo trifatorial. Partindo-se da hipótese de

nulidade (H_0) a qual assume que os tratamentos (espaçamento entre aspersores, diâmetro do bocal e pressão de serviço do aspersor) não tem efeito significativos sobre a variável Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC), procedeu-se ao teste F para determinar se as estimativas independentes da variância podem ser assumidas como sendo a mesma variância ou não. Sendo rejeitada H_0 e assumida a hipótese alternativa (H_A), utilizou-se o teste de Duncan aos níveis de significância de 5 e 1 %, como teste de comparação múltipla entre pares das médias dos tratamentos (GOMES, 1987 ; LITTLE e HILLS, 1978 ; SNEDECOR e COCHRAN, 1981).

4.5 - Modelo de Distribuição de Água

4.5.1 - Modelo computacional

A partir da teoria balística desenvolveu-se um modelo computacional para a solução das equações de movimento de gotas 22, 23 e 24, empregando-se o método de Runge-Kutta de quarta ordem, segundo PRESS et. al. (1990). Admitiu-se que o centro do eixo das coordenadas cartesianas (X, Y e Z) tinha origem no centro do aspersor, utilizando-se a mesma metodologia proposta no ensaio de distribuição de água do aspersor.

No caso da ocorrência de vento utilizou-se as equações 29, 30 e 31 para cada intervalo na coordenada cartesiana do eixo z.

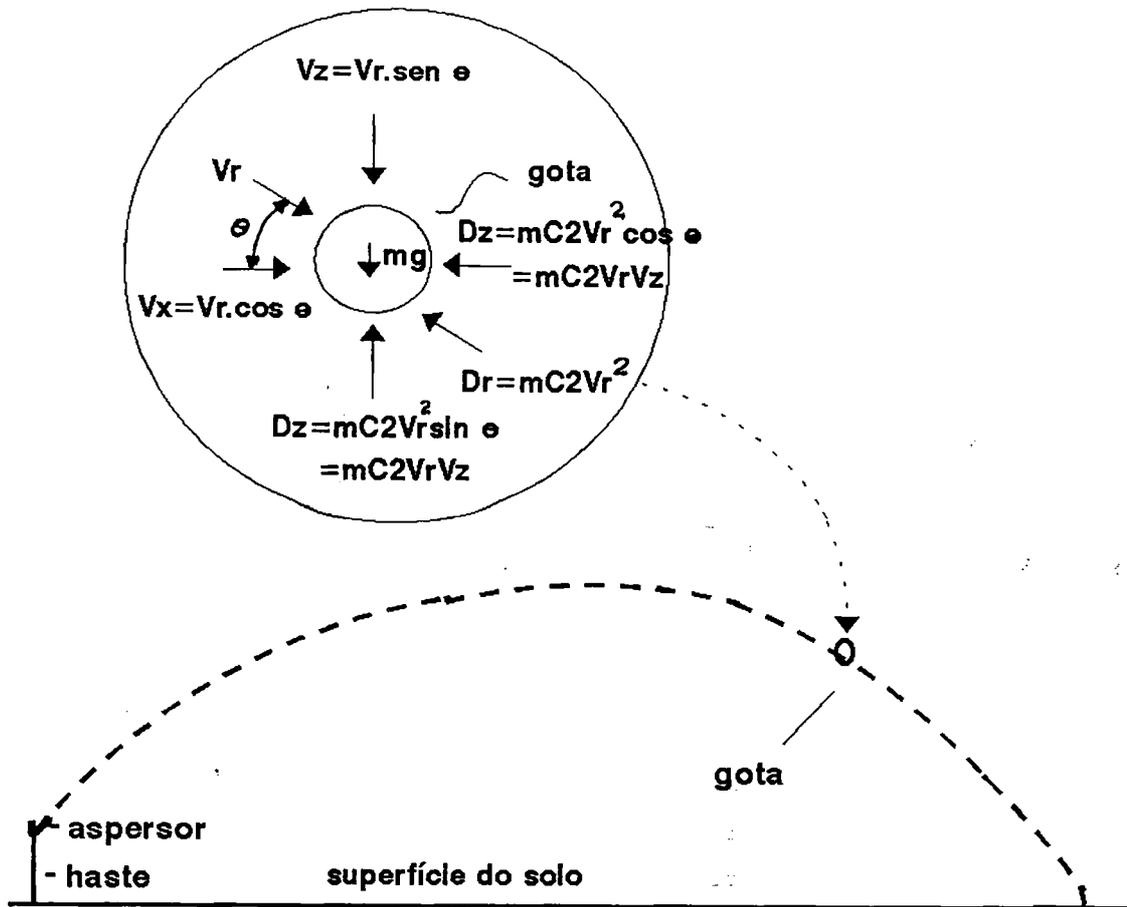


Figura 4.2 - Trajetória da gota e diagrama em duas dimensões de uma gota individual.

4.5.2 - Resolução das equações de movimento

Em primeiro lugar solucionou-se as equações de movimento 22, 23 e 24 para gotas com diâmetros entre 0,5 a 6,0 mm com intervalo de 0,01 mm. O intervalo de tempo empregado para a solução destas equações foi de 0,001 segundo. Como condição inicial de contorno, admitiu-se que a gota seria projetada a partir do bocal do

aspersor, apresentando como valor zero (0) as coordenadas cartesianas X e Y. Para a coordenada cartesiana Z empregou-se o valor da altura da haste do aspersor. Na condição final de contorno, estabeleu-se que a trajetória seria encerrada quando a coordenada cartesiana z calculada apresentasse valor menor ou igual a altura dos coletores. Na condição inicial de velocidade utilizou-se a equação 26 para estimar a velocidade inicial do jato.

4.5.3 - Cálculo do coeficiente de atrito

Para o cálculo do coeficiente de atrito (C_d) utilizou-se a metodologia desenvolvida por FUKUI et. al. (1980) e HILLS & GU (1989) referentes às equações 15a, 15b, 15c e 17, desta maneira pode-se determinar a que distância determinada gota caiu no solo em relação ao aspersor. O modelo foi ajustado com base em dados apresentados no trabalho de dissertação de mestrado de CARVALHO (1991). Utilizou-se o método de estimativa do coeficiente de atrito (C_d) que apresentou o maior coeficiente de determinação (R^2) entre os dados simulados e os reais obtidos por CARVALHO (1991).

Estabelecido o método do coeficiente de atrito (C_d), empregou-se valores percentuais da velocidade inicial do jato, (100, 90, 80, 70, 60 %) para estimar a quantidade de energia de velocidade absorvida pelo defletor. O percentual que apresentou o maior coeficiente de determinação (R^2) entre os dados simulados e

os reais obtidos por CARVALHO (1991), foi empregado para o ajuste do modelo através da equação linear.

4.5.4 - Análise de sensibilidade do modelo

Devido ao alto índice de correlação (R) e determinação (R^2) entre os valores simulados pelo modelo e os valores reais obtidos por CARVALHO (1991), foi realizada uma análise de sensibilidade dos parâmetros envolvidos no modelo.

A análise de sensibilidade foi realizada para os seguintes parâmetros: pressão de serviço do aspersor, coeficiente de descarga, ângulo de inclinação, velocidade e ângulo de incidência do vento e temperatura do ar. A metodologia empregada nesta análise foi realizada através da variação percentual do parâmetro a ser estudado e a variação percentual da distância percorrida por determinada gota (2,0 mm). Esta metodologia foi empregada por TUCCI (1979) em trabalho executado por este mesmo autor.

4.5.5 - Metodologia para estimativa da distribuição do tamanho da gota

A teoria balística permite a indicação do tamanho de gota para uma distância específica do aspersor, a qual pode ser calculada através das equações de movimento, visto anteriormente. Se dados disponíveis que relacionam a quantidade de água com a distância do aspersor, o número de gotas de determinado diâmetro

pode ser calculado para cada distância específica.

Aplicando a teoria balística VON BERNUTH e GILLEY (1984) assumiram que todas as gotas que caem dentro de uma estreita faixa $[r_2 - r_1]$ são de mesmo diâmetro. O volume de água que precipita dentro deste anel entre r_1 e r_2 é dado por:

$$V_{o1} = \pi \left[r_2^2 - r_1^2 \right] D_k \quad (36)$$

onde:

D_k = altura de água aplicada (m);

r_1 e r_2 = raio de alcance do aspersor (m);

V_{o1} = volume de água precipitado (m^3);

π = valor pi ($\pi = 3,141592654$) (-).

Se todas as gotas no anel são de mesmo diâmetro (d_k) e assumindo-se como esféricas, então:

$$V_{o1} = 1/6 d_k^3 N d_k \quad (37)$$

onde:

d_k = diâmetro de gota (m);

$N d_k$ = número de gotas de tamanho d_k (-);

V_{o1} = volume de água precipitado (m^3).

A frequência relativa do volume ($f d_k$) é dada pelo volume de água aplicado por meio do tamanho de gota d_k dividido pelo volume total precipitado em toda a faixa, de modo que:

$$\sum_{k=1}^n fd_k = 1 \quad (38)$$

onde:

fd_k = frequência relativa do volume (-).

Se o volume total é produzido pela taxa constante de escoamento (Q_s) no tempo T , concluímos que:

$$fd_k = \left[\frac{1/6 d_k^3 Nd_k}{Q_s T} \right] = \left[\frac{\pi \left(r_2^2 - r_1^2 \right) D_k T}{Q_s T} \right] \quad (39)$$

onde:

d_k = diâmetro de gota (m);
 D_k = altura de água aplicada (m);
 fd_k = frequência relativa do volume (-);
 Nd_k = número de gotas de tamanho d_k (-);
 r_1 e r_2 = raio de alcance do aspersor (m);
 Q_s = vazão real do aspersor (m^3/s);
 T = tempo de duração do ensaio (s);
 π = valor pi ($\pi = 3,141592654$) (-).

$$fd_k = \pi \left(r_2^2 - r_1^2 \right) \frac{D_k}{Q_s} \quad (40)$$

D_k = altura de água aplicada (m);
 fd_k = frequência relativa do volume (-);
 r_1 e r_2 = raio de alcance do aspersor (m);
 Q_s = vazão real do aspersor (m^3/s);
 π = valor pi ($\pi = 3,141592654$) (-).

O problema que pode ser encontrado é que:

$$\sum_{k=1}^n fd_k = \left[\pi \left(r_2^2 - r_1^2 \right) \frac{D_k}{Q_s} \right] \quad (41)$$

onde:

D_k = altura de água aplicada (m);
 fd_k = frequência relativa do volume (-);
 r_1 e r_2 = raio de alcance do aspersor (m);
 Q_s = vazão real do aspersor (m^3/s);
 π = valor pi ($\pi = 3,141592654$) (-).

não seja igual a um (1).

Devido a erros experimentais não controláveis, o volume de água precipitado não é igual ao volume teórico de descarga. As duas possíveis fontes de influencia no volume capturado são o vento e a evaporação. Dados coletados com vento fraco e umidade relativa do ar alta teriam menos influência. De acordo com VON BERNUTH e GILLEY (1984) um método razoável para fazer isto é ajustar Q_s para que:

$$\sum_{k=1}^n \pi \left(r_2^2 - r_1^2 \right) \frac{D_k}{Q_s} = 1 \quad (42)$$

onde:

D_k = altura de água aplicada (m);
 r_1 e r_2 = raio de alcance do aspersor (m);
 Q_s = vazão real do aspersor (m^3/s);
 π = valor pi ($\pi = 3,141592654$) (-).

A frequência relativa do volume normalizada (Fd_k) é definida como:

$$\sum_{k=1}^n Fd_k \cdot \Delta d_k = 1 \quad (43)$$

onde Δd_k é o incremento do tamanho da gota em cada faixa k .
Portanto:

$$Fd_k = \frac{fd_k}{\Delta d_k} \quad (44)$$

onde:

fd_k = frequência relativa do volume (-);
 Fd_k = frequência relativa do volume normalizada (-);
 Δd_k = incremento do tamanho de gota (m).

Se um valor constante de Δd_k (Δd) é escolhido com relação a k , então:

A frequência relativa do volume normalizado é então dado por:

$$Fd_k = \text{CONS} \left[\frac{r_2^2 - r_1^2}{\Delta d} \right] D_k \quad (45)$$

onde:

D_k = altura de água aplicada (m);
 Fd_k = frequência relativa do volume normalizada (-);
 Δd = incremento do tamanho de gota (m);
 r_1 e r_2 = raio de alcance do aspersor (m).

onde CONS é uma constante calculada para a conversão de unidades da vazão real do aspersor e o incremento do tamanho de gota.

Aplicando-se a metodologia desenvolvida por VON BERNUTH e

GILLEY (1984), obteve-se a distribuição do tamanho de gota para os aspersores PA-100 e PA-150 para as diversas pressões. Conhecendo-se estas pode-se estimar a precipitação ao longo do raio de alcance para cada ensaio estabelecido no delineamento experimental.

4.5.6 - Simplificações do modelo

Para a solução das equações 22, 23 e 24 foram assumidas as seguintes simplificações:

→ A velocidade inicial da gota é igual a velocidade média do jato de água;

→ O ângulo inicial de trajetória é igual ao ângulo do bocal do aspersor;

→ O coeficiente de atrito (C_p) é constante para determinada gota pela metodologia proposta por HILLS & GU (1989);

→ A perda por evaporação na trajetória da gota não foi levada em consideração.

4.5.7 - Metodologia de utilização do modelo

Para o processamento rápido e eficiente dos dados foi necessário o desenvolvimento de dois "Softwares". O primeiro programa calculou a trajetória das gotas baseado nas equações de movimento (SIMGOTA.BAS), considerando a metodologia proposta por FUKUI et. al. (1980) e HILLS & GU (1989) para cálculo do

coeficiente de atrito do ar. A listagem deste programa é verificada no anexo 05.

Para o processamento do programa SIMGOTA.BAS são necessários os seguintes dados de entrada:

- Pressão de operação do aspersor;
- Vazão do aspersor;
- Coeficiente de descarga do bocal;
- Ângulo de inclinação do bocal;
- Altura da haste do aspersor;
- Altura dos coletores;
- Velocidade do vento;
- Ângulo de incidência do vento;
- Temperatura do ar.

Os dados gerados pelo programa SIMGOTA.BAS são os seguintes:

- Diâmetro de gota pré-determinado;
- Tempo da trajetória da gota para alcançar o coletor;
- Velocidade final nas coordenadas X, Y e Z;
- Distância percorrida pela gota nas coordenadas X, Y e Z;
- Distância ajustada percorrida pela gota nas coordenadas X, Y e Z;

O segundo programa computacional determinou a distribuição do tamanho de gotas baseado na metodologia proposta por VON BERNUTH e GILLEY (1984) (DITAGO.BAS), interpolando linearmente a frequência do tamanho de gota para determinado raio de alcance do

aspersor. A listagem deste programa é verificada no anexo 05.

Para o processamento do programa DITAGO.BAS são necessários os seguintes dados de entrada:

- Perfil de precipitação ao longo do raio de alcance do aspersor.

Os dados gerados pelo programa DITAGO.BAS são os seguintes:

- Frequência de distribuição do tamanho de gotas para um determinado raio de alcance do aspersor.

Através do organograma (Figura 4.6) pode-se verificar a execução do trabalho.

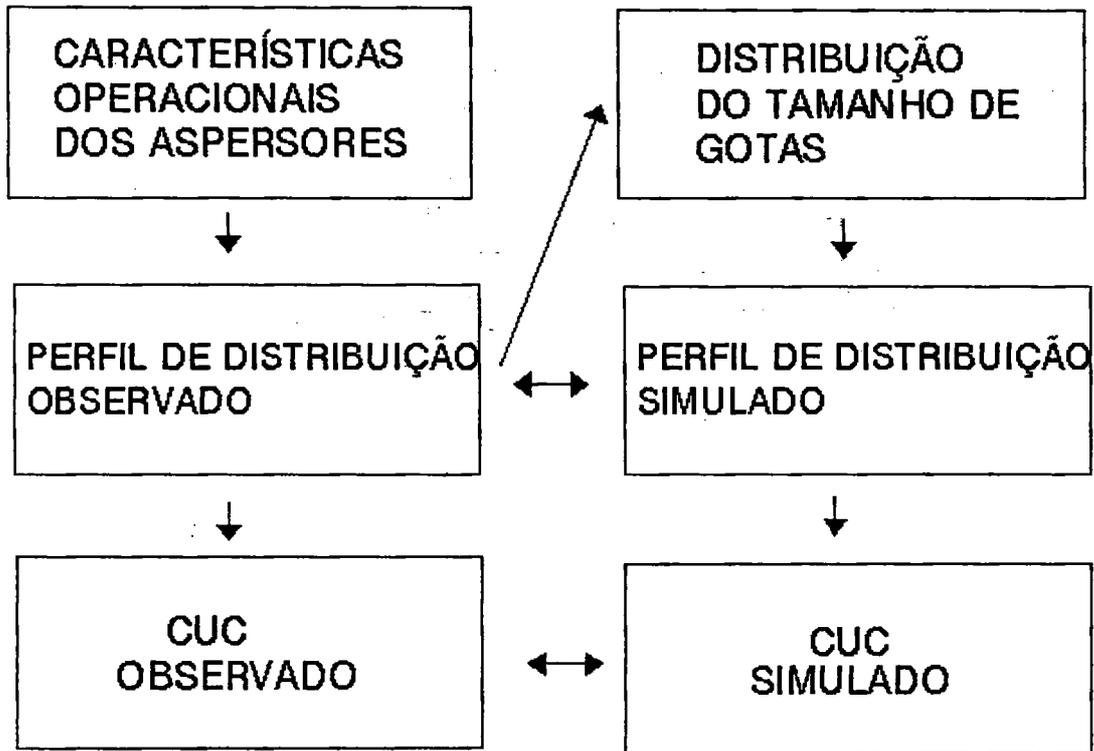


Figura 4.6 - Organograma de execução do trabalho de pesquisa.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Ensaio de Vazão e Coeficiente de Descarga do Aspersor

Determinou-se os valor real do diâmetro e ângulo de inclinação de cada bocal dentro das repetições dos aspersores PA-100 e PA-150, estes valores podem ser observados na tabela 5.1 e 5.2. Verifica-se que os valores observados não coincidem com os valores relatados pelo catálogo do fabricante, esta variação é devida às diferenças na construção do bocal.

Tabela 5.1 - Valor real do diâmetro e ângulo de inclinação de cada bocal dentro das repetições do aspersor PA-100.

Diâmetros dos bocais Fabricante (mm)	Diâmetro observado dos bocais Rep. 01 (mm)	Diâmetro observado dos bocais Rep. 02 (mm)	Diâmetro observado dos bocais Rep. 03 (mm)	Ângulo inclinação dos bocais (graus)
7.0 x 3.0	7.20 x 2.80	7.15 x 2.75	7.10 x 2.55	25.0 x 25,0
8.0 x 3.0	8.00 x 2.80	8.05 x 2.75	7.95 x 2.55	25.0 x 25,0
8.0 x 5.0	8.00 x 5.60	8.05 x 5.55	7.95 x 5.55	25.0 x 25,0

Tabela 5.2 - Valor real do diâmetro e ângulo de inclinação de cada bocal dentro das repetições do aspersor PA-150.

Diâmetros dos bocais Fabricante (mm)	Diâmetro observado dos bocais Rep. 01 (mm)	Diâmetro observado dos bocais Rep. 02 (mm)	Diâmetro observado dos bocais Rep. 03 (mm)	Ângulo inclinação dos bocais (graus)
10.0 x 5.0	10.45 x 5.50	10.50 x 5.45	10.65 x 5.45	25.0 x 25,0
12.0 x 5.0	12.30 x 5.50	12.25 x 5.45	12.30 x 5.45	25.0 x 25,0
14.0 x 5.0	14.40 x 5.50	14.40 x 5.45	14.40 x 5.45	25.0 x 25,0

Na tabela 5.3 e 5.4, observa-se os valores dos ensaios de vazão dos aspersores marca Plona modelo PA-100 e PA-150, com os respectivos bocais.

Tabela 5.3 - Resultados dos ensaios de vazão (m³/h) média dos aspersores marca Plona modelo PA-100.

Bocais (mm)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
7 x 3	2.7327	3.3096	3.7752	4.2182
8 x 3	3.5095	4.2674	4.8777	5.4583
8 x 5	4.7317	5.7331	6.5775	7.3465

Tabela 5.4 - Resultados dos ensaios de vazão (m³/h) média dos aspersores marca Plona modelo PA-150.

Bocais (mm)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
10 x 5	6.3363	7.7284	8.9021	9.8605
12 x 5	8.1481	9.9070	11.4067	12.6255
14 x 5	11.5986	14.1361	16.3459	18.2222

A vazão de um aspersor em função da pressão de serviço, é dada pela equação 36; na tabela 5.5 tem-se os coeficientes das equações potenciais dos aspersores ensaiados (equação 37).

$$Q_r = C \cdot A \cdot \sqrt{2 g H} \quad (36)$$

onde:

A = área interna do bocal do aspersor (m²);
 C = coeficiente de descarga (-);
 g = aceleração da gravidade (m/s²);
 H = pressão de operação do bocal (mca);
 Q_r = vazão real do aspersor (m³/s).

$$Q_r = K \cdot H^x \quad (37)$$

onde:

Q_r = vazão real do aspersor (m³/s);
 K = coeficiente linear da equação potencial (m^{2.5}/h);
 x = coeficiente angular da equação potencial (-).

Tabela 5.5 - Coeficientes lineares e angulares da equação da vazão x pressão de serviço (mca) dos aspersores marca Plona modelo PA-100.

Bocais (mm)	Coefic. Linear (K) (m ^{2.5} /h)	Coefic. Angular (x) (-)	R ²
7 x 3	0.6648	0.4718	0.9985
8 x 3	0.8329	0.4800	0.9974
8 x 5	1.1239	0.4794	0.9956

Tabela 5.6 - Coeficientes lineares e angulares da equação da vazão x pressão de serviço (mca) dos aspersores marca Plona modelo PA-150.

Bocais (mm)	Coefic. Linear (K) (m ^{2.5} /h)	Coefic. Angular (x) (-)	R ²
10 x 5	1.4833	0.4841	0.8091
12 x 5	1.9375	0.4797	0.9935
14 x 5	2.6385	0.4940	0.9987

Os resultados dos coeficientes x e de R^2 comprovam a boa precisão da metodologia empregada, sendo que a precisão não foi prejudicada.

Nas figuras 5.1 e 5.2, observa-se o comportamento dos aspersores ensaiados, dentro dos limites estabelecidos de vazão x pressão de serviço.

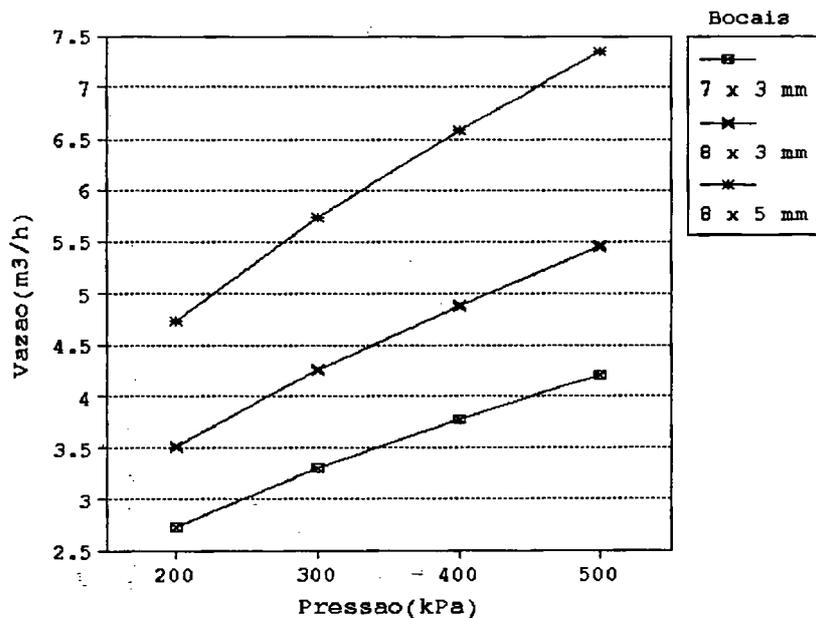


Figura 5.1 - Curva característica vazão x pressão de serviço do aspersor marca Plona modelo PA-100, bocais: 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm.

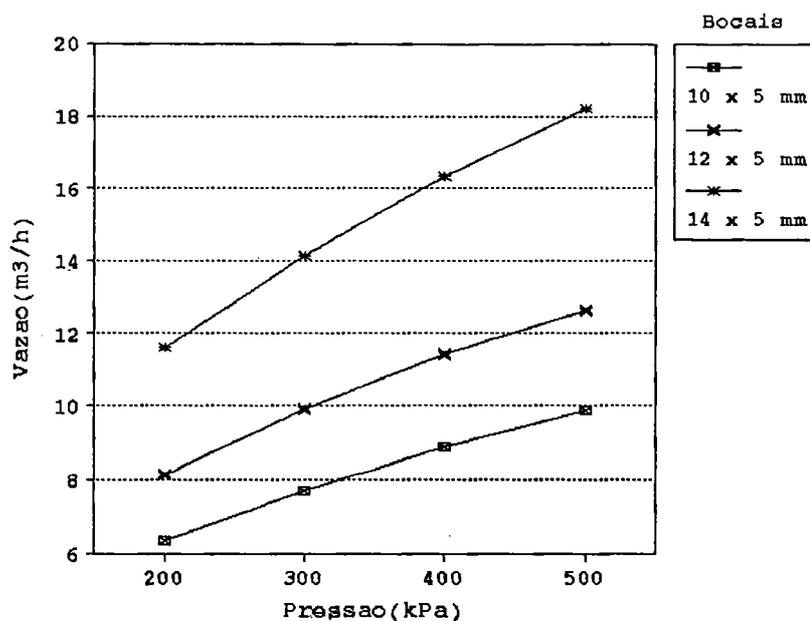


Figura 5.2 - Curva característica vazão x pressão de serviço do aspersor marca Plona modelo PA-150, bocais: 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm.

O comportamento do coeficiente de descarga (C) com relação a pressão de serviço do aspersor pode ser verificado através das figuras 5.3 e 5.4. Nas tabelas 5.7 e 5.8, observa-se os resultados dos ensaios do coeficiente de descarga médio dos aspersores modelo PA-100 e PA-150 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa, respectivamente. Verificou que com o aumento da pressão ocorreu uma diminuição gradual do coeficiente para os diferentes bocais, apresentando o mesmo comportamento para os dois modelos, até um valor constante, ocorrendo um escoamento turbulento hidraulicamente rugoso.

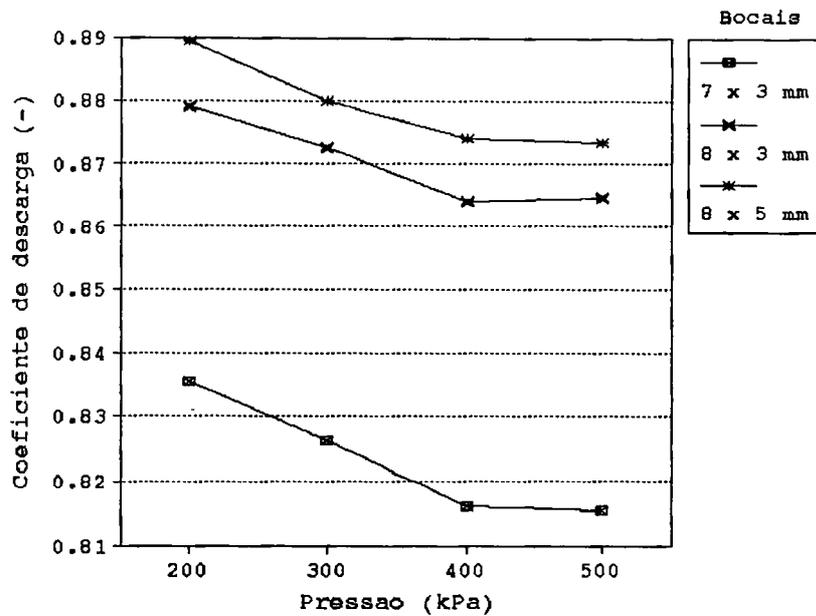


Figura 5.3 - Curva do coeficiente de descarga x pressão de serviço do aspersor marca Plona modelo PA-100, bocais 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm.

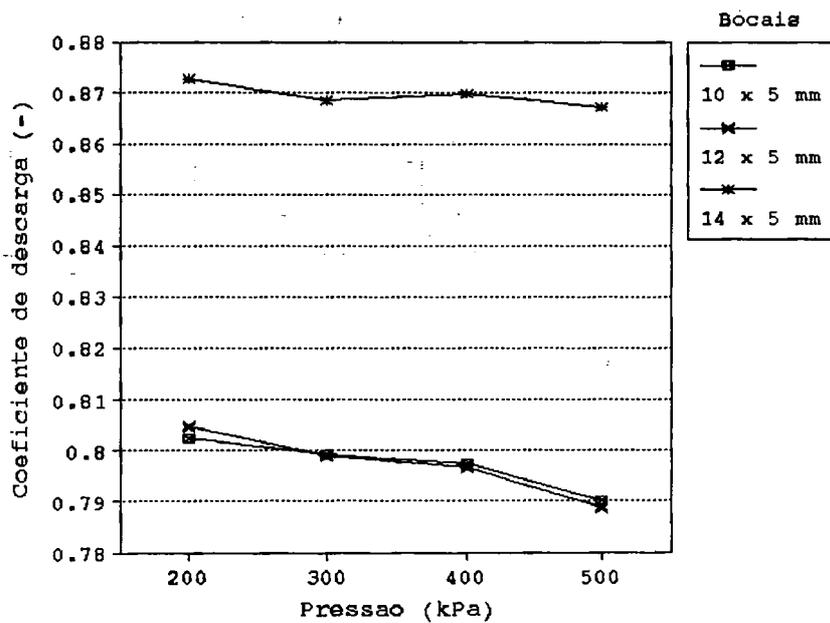


Figura 5.4 - Curva do coeficiente de descarga x pressão de serviço do aspersor marca Plona modelo PA-150: bocais 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm.

Tabela 5.7 - Resultados dos ensaios do coeficiente de descarga médio (-) dos aspersores marca Plona modelo PA-100.

Bocais (mm)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
7 x 3	0.8354	0.8262	0.8161	0.8156
8 x 3	0.8791	0.8728	0.8640	0.8648
8 x 5	0.8895	0.8799	0.8743	0.8734

Tabela 5.8 - Resultados dos ensaios do coeficiente de descarga médio (-) dos aspersores marca Plona modelo PA-150.

Bocais (mm)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
10 x 5	0.8026	0.7993	0.7973	0.7899
12 x 5	0.8048	0.7990	0.7967	0.7887
14 x 5	0.8729	0.8686	0.8698	0.8673

5.2 - Ensaio de Distribuição de Água do Aspersor

Nas tabelas 5.9, 5.10 e 5.11 estão relacionados valores médios de precipitação (mm/h) para o aspersor PA-100 Bocal 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm respectivamente, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial.

Tabela 5.9 - Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).

Raio alcance (metros)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
2.0	1.9030	2.2407	3.5982	3.2522
3.0	1.4304	2.0066	2.8539	2.6617
4.0	1.7107	2.6693	3.7643	3.7599
5.0	2.2814	3.2710	4.9696	4.3138
6.0	1.5786	3.1683	4.0110	4.1670
7.0	2.2865	3.3866	4.0891	4.5639
8.0	2.9136	4.0487	4.6331	5.7391
9.0	3.9437	4.3330	4.9764	5.8403
10.0	4.0850	4.0519	4.1768	5.0796
11.0	4.7937	4.5398	4.5257	5.1217
12.0	4.8752	4.2534	4.1325	5.1393
13.0	4.1815	4.0039	3.3796	4.8858
14.0	3.9358	3.3669	3.2610	4.3522
15.0	2.8199	2.9318	2.7759	3.7071
16.0	1.0194	2.3098	2.2326	2.7247
17.0	0.0843	1.7848	1.7927	1.8264
18.0		0.9663	1.0848	0.7769
19.0		0.4456	0.4206	0.2269
20.0		0.1279	0.0655	0.0231

Tabela 5.10- Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).

Raio alcance (metros)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
2.0	5.1093	6.8083	4.9617	7.2291
3.0	7.9899	6.0998	9.7873	11.6363
4.0	4.6343	6.7984	5.9739	7.2168
5.0	4.2370	5.9716	5.1312	6.6263
6.0	3.9475	5.2725	4.9788	5.7318
7.0	3.7624	4.7174	4.4466	4.8665
8.0	4.3241	4.7447	4.9857	5.1848
9.0	4.5969	4.7968	5.9286	5.8842
10.0	4.4763	4.6774	5.8425	5.4367
11.0	4.7384	5.4048	6.1383	5.9394
12.0	4.6060	5.4083	5.8986	6.3023
13.0	4.6074	5.9629	5.6310	6.4599
14.0	4.2449	6.0082	5.1834	6.0017
15.0	3.7087	5.7284	4.7496	5.4020
16.0	2.5466	5.2751	4.5581	4.1693
17.0	1.6869	4.2128	3.2281	3.5812
18.0	0.8596	2.5411	2.0056	2.1614
19.0	0.3654	1.3160	1.1358	1.3571
20.0	0.0212	0.3682	0.5245	0.5949
21.0		0.0317	0.1843	0.2290
22.0				0.0187

Tabela 5.11- Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).

Raio alcance (metros)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
2.0	7.3639	7.6668	7.2615	10.3913
3.0	8.6527	7.9902	8.5602	10.3583
4.0	9.3608	8.7319	8.1545	10.5950
5.0	8.8754	8.6982	7.9517	9.9237
6.0	9.7058	9.4339	9.8322	10.7357
7.0	9.1666	9.2474	11.2032	8.9299
8.0	7.8342	8.2915	9.0963	8.0448
9.0	7.0337	7.7464	10.9366	8.3667
10.0	5.8455	6.0902	7.7754	6.0206
11.0	6.0235	5.8418	6.7020	5.8687
12.0	5.5468	5.2188	5.6589	5.2713
13.0	5.3024	5.1350	5.0895	4.5990
14.0	3.8176	4.2228	4.7621	3.8337
15.0	1.3090	2.9028	4.5604	3.1745
16.0	0.3521	1.5514	4.2735	2.5895
17.0		0.9433	4.0528	1.9611
18.0		0.4306	3.2258	1.0962
19.0		0.2249	2.4472	0.5290
20.0		0.0998	1.1805	0.2137
21.0			0.5197	0.0654
22.0			0.1715	
23.0			0.0882	

Nas figuras 5.5, 5.6 e 5.7 observa-se o comportamento da precipitação do aspersor ao longo do raio de alcance do mesmo, para o modelo PA-100 e bocais 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm, respectivamente. No comportamento da figura 5.5, nota-se que

ocorre uma maior precipitação no final do raio de alcance do bocal 7 x 3 mm para a pressão de 200 kPa. Isto deve-se a pequena pulverização do jato, provocando o aparecimento de gotas grandes. A possível justificativa se deve ao ajuste na velocidade da batida do braço do aspersor para a quebra do jato. Para as pressões de 300, 400 e 500 kPa, observa-se o mesmo comportamento da distribuição de água do bocal 7 x 3 mm.

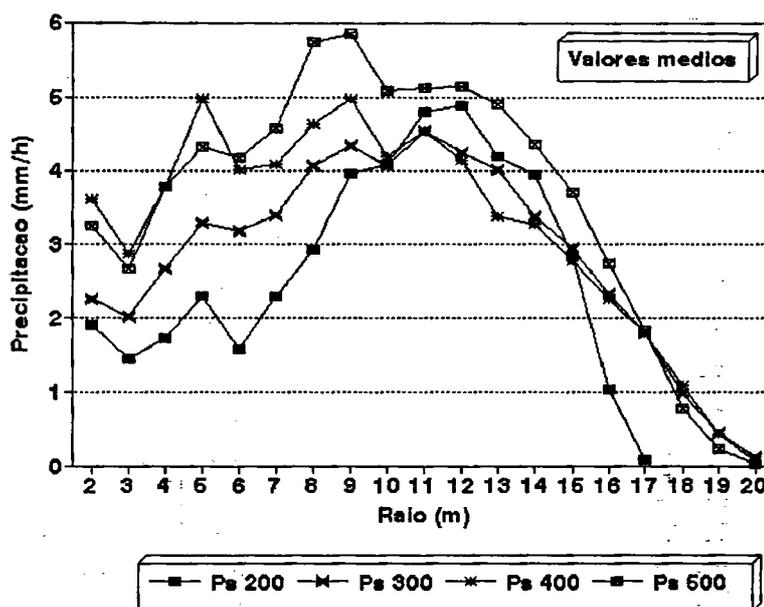


Figura 5.5- Distribuição da precipitação média ao longo do raio de alcance do aspersor modelo PA-100 - Bocal 7 x 3 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Para os bocais 8 x 3 e 8 x 5 mm, o comportamento da precipitação ao longo do raio de alcance, mostrou-se de forma uniforme e decrescente, apresentando uma maior precipitação próximo ao aspersor, para as diferentes pressões ensaiadas.

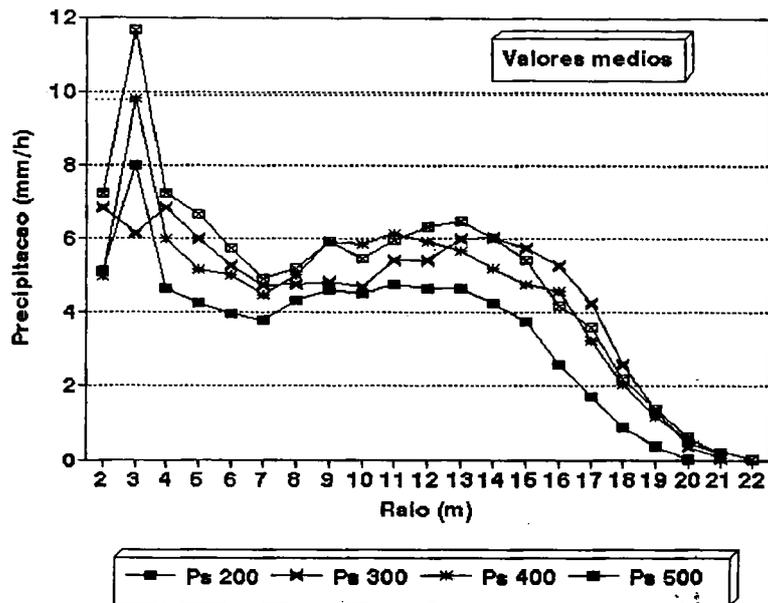


Figura 5.6- Distribuição da precipitação média ao longo de raio de alcance do aspersor modelo PA-100 - Bocal 8 x 3 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.

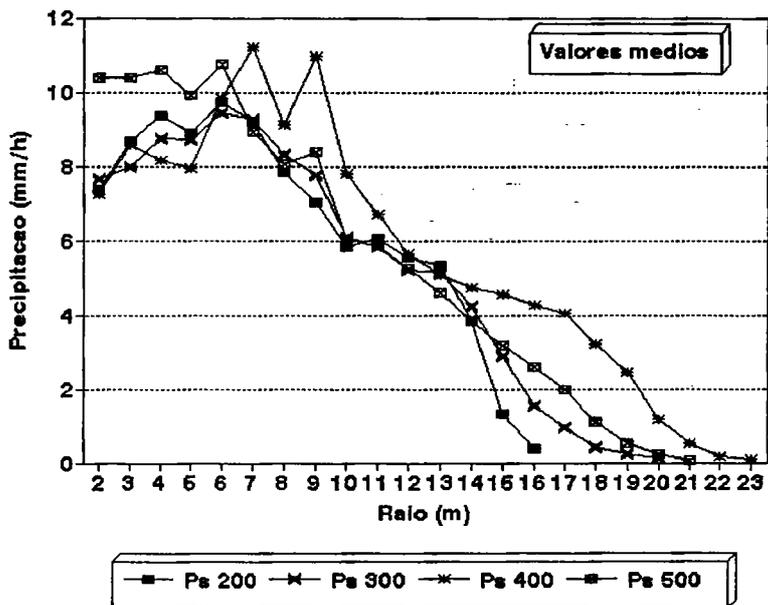


Figura 5.7- Distribuição da precipitação média ao longo de raio de alcance do aspersor modelo PA-100 - Bocal 8 x 5 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Nas tabelas 5.12, 5.13 e 5.14 estão relacionados valores médios de precipitação (mm/h) para o aspersor PA-150 Bocal 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm respectivamente, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial.

O comportamento da distribuição da precipitação do aspersor para o modelo PA-150, pode ser observado na figura 5.8, 5.9 e 5.10, para os bocais 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm, respectivamente. Nota-se através destas figuras que ocorre a mesma tendência na distribuição de água do aspersor para as diferentes pressões de cada bocal ensaiado. Em todas as figuras citadas ocorreu a maior precipitação próxima ao aspersor, decrescendo esta ao longo do raio de alcance.

Tabela 5.12- Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).

Raio alcance (metros)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
2.0	10.8665	15.9988	24.8265	24.9885
3.0	8.9602	12.8104	17.6694	17.9268
4.0	9.4455	12.8950	16.1515	14.9217
5.0	9.3511	11.5560	13.5889	11.8629
6.0	9.4657	11.0726	13.1083	12.2542
7.0	9.5855	10.0964	12.7264	12.4282
8.0	8.4380	9.0802	11.1782	10.8435
9.0	7.6208	8.4963	11.1297	10.1551
10.0	6.6643	7.4354	9.7654	8.6290
11.0	6.8929	7.0574	8.0092	7.3184
12.0	7.2524	6.9089	7.3801	6.7927
13.0	6.9572	6.3802	6.3381	6.1056
14.0	6.2862	5.7391	5.7950	5.6786
15.0	5.7666	5.2596	5.3217	5.3138
16.0	5.2070	5.0272	5.2159	4.9870
17.0	4.0084	4.1474	4.6374	4.2463
18.0	2.0946	3.4379	4.0006	3.4074
19.0	0.5830	2.3310	3.1270	2.6342
20.0	0.0316	1.2161	2.2266	1.8919
21.0		0.5245	1.6104	1.3363
22.0		0.1628	0.9944	0.8272
23.0		0.0511	0.6079	0.4649
24.0			0.2364	0.1371
25.0				0.1103

Tabela 5.13- Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).

Raio alcance (metros)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
2.0	18.6394	14.8436	24.4290	40.0245
3.0	14.4483	14.5545	17.1901	17.7461
4.0	13.0049	14.1269	15.9601	13.7915
5.0	12.9902	13.3395	13.3839	11.7759
6.0	13.3431	12.7360	13.0184	11.7730
7.0	11.5759	12.4922	14.1379	12.9796
8.0	11.1649	11.5733	12.4409	11.5542
9.0	11.1225	11.7177	13.0940	12.6626
10.0	11.1894	11.0881	12.0779	11.6657
11.0	10.8275	10.6163	12.0006	11.3783
12.0	10.3730	10.5176	11.3740	11.4331
13.0	9.8161	10.1227	10.2268	11.0036
14.0	9.5199	9.3876	8.9693	10.7415
15.0	9.5560	8.9101	8.3855	10.5365
16.0	9.2056	8.6286	7.3000	10.1756
17.0	6.7162	6.6391	5.9640	9.0804
18.0	4.5802	4.9867	4.7961	7.5940
19.0	2.2538	3.1417	3.8957	6.0845
20.0	0.6099	1.6142	2.8501	4.3043
21.0		0.5752	2.2246	2.9538
22.0		0.1234	1.4391	1.7681
23.0		0.0426	0.8581	1.0921
24.0			0.3922	0.7389
25.0			0.1246	0.2807
26.0				0.1231

Tabela 5.14- Valores médios de precipitação(mm/h) para o aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm, nas diferentes pressões de operação (200, 300, 400 e 500 kPa) nos coletores em disposição radial (m).

Raio alcance (metros)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
2.0	15.4016	31.7931	41.9994	48.2729
3.0	10.0646	24.4393	33.8890	32.1978
4.0	8.9033	17.6396	22.6937	19.2912
5.0	9.9663	16.5438	17.6452	14.2438
6.0	10.6728	15.4961	15.4091	12.5297
7.0	11.7013	15.3667	16.8521	14.0504
8.0	11.5234	13.2600	13.4138	11.3472
9.0	11.8970	13.2875	14.1675	12.6381
10.0	13.7025	12.7401	12.5683	11.5970
11.0	14.1889	12.3490	12.6901	11.1802
12.0	13.0497	12.1103	11.2302	9.5338
13.0	12.1466	11.3067	10.1935	8.7813
14.0	10.8506	10.2600	9.5887	8.5855
15.0	12.0887	9.9949	9.4909	9.0407
16.0	12.7038	10.6383	9.7298	9.4673
17.0	12.5021	10.1083	9.9813	9.5850
18.0	12.5491	10.3050	9.8998	9.4288
19.0	11.6429	10.3056	9.8463	9.3501
20.0	9.9175	9.6883	9.2879	8.5061
21.0	6.7558	8.9563	9.0490	7.9724
22.0	1.9755	6.8180	7.2135	6.4722
23.0	0.2145	5.6384	5.8267	5.4430
24.0		3.7492	4.3998	4.2545
25.0		2.2836	3.0310	2.6908
26.0		1.0073	1.6048	1.5673
27.0		0.3866	0.6431	0.7400
28.0		0.1665	0.1725	0.2910
29.0				0.0493

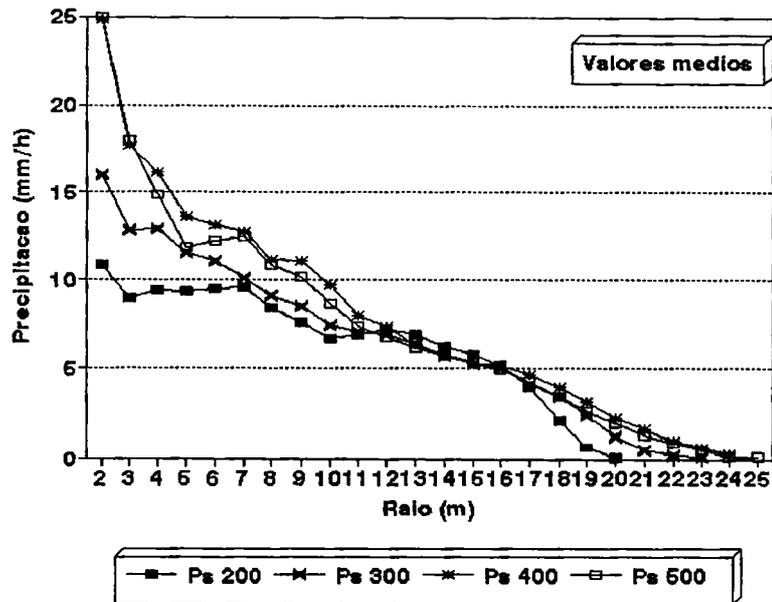


Figura 5.8-Distribuição da precipitação média ao longo de raio de alcance do aspersor modelo PA-150 -Bocal 10 x 5 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.

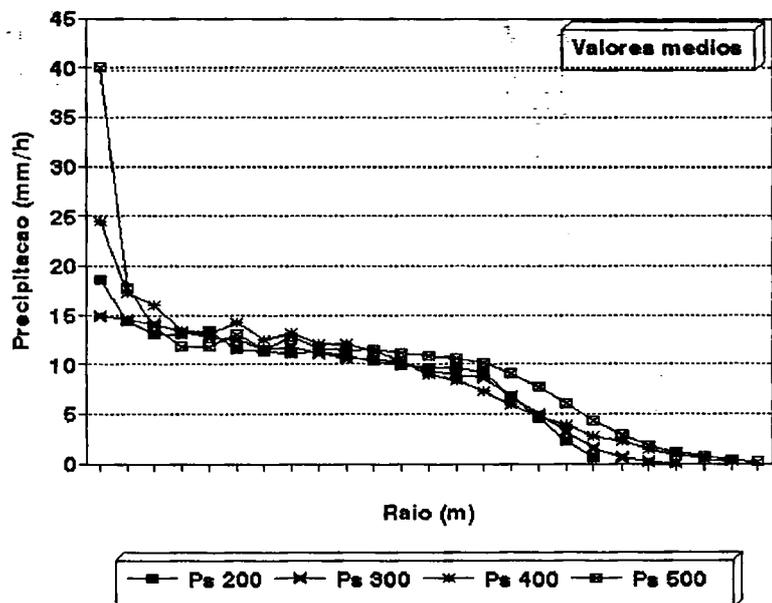


Figura 5.9-Distribuição da precipitação média ao longo de raio de alcance do aspersor modelo PA-150 -Bocal 12 x 5 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.

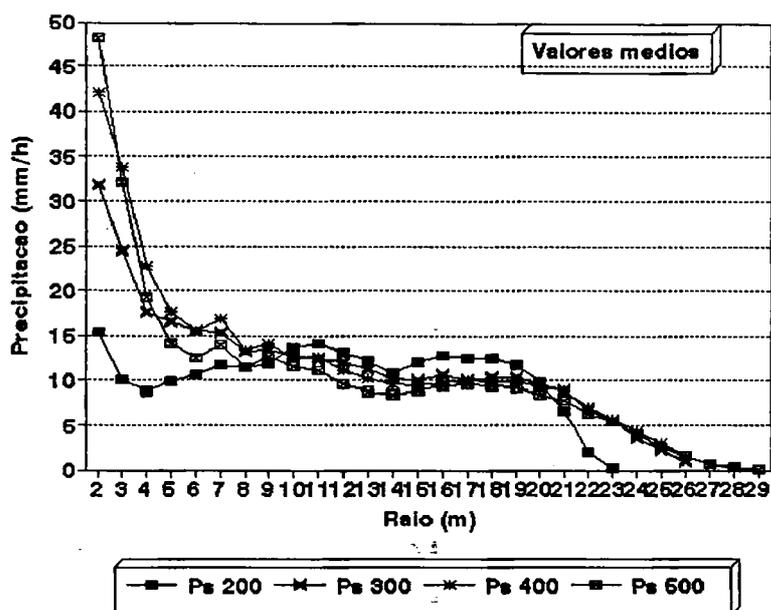


Figura 5.10-Distribuição da precipitação média ao longo de raio de alcance do aspersor modelo PA-150 -Bocal 14 x 5 mm para diferentes pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Existe a possibilidade que a distribuição da precipitação observada foi influenciada pela presença da campânula durante a realização dos ensaios, atuando nas linhas de corrente da trajetória da gotas de água. No entanto, as aletas presentes na parte interna da campânula apresentavam um ângulo de abertura (10°) maior que o ângulo formado pela zona de observação dos coletores ($1^\circ 50'$). Além disso, preocupou-se em minimizar a influência do vento durante a realização do ensaio, obedecendo a norma estabelecida pela NBR 8989 (1985) da ABNT.

5.3 - Processamento dos Dados

Os perfis obtidos nos setenta e dois ensaios realizados, foram processados com a utilização de "software" desenvolvido, conforme a metodologia descrita anteriormente.

O coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC), foi empregado como parâmetro de medida da uniformidade da lâmina de água aplicada nos espaçamentos 6 x 6, 6 x 12, 12 x 12, 12 x 18, 18 x 18, 18 x 24, 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 metros. O resultados encontram-se na tabela 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 e 5.20.

Tabela 5.15-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o modelo PA-100 Bocais 7 x 3 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.

Espaçamento (m)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
6 x 6	94.30	94.45	95.80	94.44
6 x 12	85.05	88.29	90.11	90.48
12 x 12	61.96	73.20	80.00	76.50
12 x 18	32.21	49.21	50.69	50.26
18 x 18	4.21	26.38	28.64	26.43
18 x 24	-----	5.57	4.36	2.37

Tabela 5.16-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o modelo PA-100 Bocais 8 x 3 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.

Espaçamento (m)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
6 x 6	89.01	87.73	92.06	89.86
6 x 12	83.18	81.66	85.68	84.77
12 x 12	72.24	72.35	76.38	76.58
12 x 18	47.66	60.36	59.09	58.73
18 x 18	23.67	43.40	40.86	41.59
18 x 24	4.99	12.73	13.25	11.63

Tabela 5.17-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o modelo PA-100 Bocais 8 x 5 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.

Espaçamento (m)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
6 x 6	92.53	95.64	96.07	95.47
6 x 12	75.28	83.12	88.94	85.87
12 x 12	68.16	76.56	85.45	81.35
12 x 18	24.90	36.83	55.16	44.93
18 x 18	-----	10.48	43.92	23.42
18 x 24	-----	1.36	16.83	1.88
24 x 24	-----	-----	1.05	-----

Tabela 5.18-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o modelo PA-150 Bocais 10 x 5 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.

Espaçamento (m)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
6 x 6	91.51	95.31	96.86	96.34
6 x 12	85.08	88.68	90.26	89.21
12 x 12	77.15	84.55	85.55	86.07
12 x 18	53.74	58.65	59.38	55.74
18 x 18	31.70	47.29	48.65	43.77
18 x 24	5.50	18.58	24.64	20.43
24 x 24	-----	1.38	6.69	4.68

Tabela 5.19-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o modelo PA-150 Bocais 12 x 5 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.

Espaçamento (m)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
6 x 6	92.00	94.42	95.74	95.49
6 x 12	89.50	91.53	87.53	88.88
12 x 12	82.33	85.78	83.00	85.17
12 x 18	58.53	63.52	63.19	72.88
18 x 18	40.75	49.67	48.94	67.88
18 x 24	10.53	19.30	25.12	36.91
24 x 24	-----	0.72	9.35	12.76
24 x 30	-----	-----	1.99	2.72

Tabela 5.20-Valores médios do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o modelo PA-150 Bocais 14 x 5 mm para as pressões de serviço de 200, 300, 400 e 500 kPa e diferentes espaçamentos dos aspersores.

Espaçamento (m)	Pressão 200 kPa	Pressão 300 kPa	Pressão 400 kPa	Pressão 500 kPa
6 x 6	93.28	94.38	96.51	96.02
6 x 12	79.40	90.90	94.14	93.62
12 x 12	75.49	85.01	86.40	85.81
12 x 18	67.60	78.51	82.92	84.83
18 x 18	70.04	72.30	76.07	77.13
18 x 24	38.11	53.83	60.06	62.02
24 x 24	10.59	34.47	45.27	46.22
24 x 30	-----	16.13	21.14	22.09
30 x 30	-----	2.66	3.91	3.64

Observando-se os valores das tabelas 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 e 5.20, verifica-se que dentro do aspersor PA-100 bocal 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm para as diferentes pressões empregadas (200, 300, 400 e 500 kPa) os espaçamentos recomendáveis seriam 6 x 6 e 6 x 12 metros, para um coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) de 80%, segundo CHRISTIANSEN (1965). Para o aspersor PA-150 bocal 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm, nas diferentes pressões, os espaçamentos recomendáveis seriam 6 x 6, 6 x 12 e 12 x 12 metros para o mesmo CUC de 80%.

5.4 - Fatores estudados e o Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o Modelo PA-100

Para visualizar os resultados obtidos montou-se uma série de gráficos que relacionam os fatores estudados (pressão de serviço e bocal do aspersor) com o CUC. Nas figuras 5.11, 5.12 e 5.13 (ANEXO 01) observa-se os valores de CUC em função dos espaçamentos para as diferentes pressões e bocais do modelo PA-100.

Com os valores de CUC dos setenta e dois ensaios realizados, para os onze espaçamentos considerados, efetuou-se um estudo estatístico preliminar.

Inicialmente, dentro de cada espaçamento considerado, verificou-se que os dados seguiam um modelo de distribuição normal e que havia uma homogeneidade de variância, o que possibilitou a aplicação de uma análise de variância (teste F) no ensaio fatorial realizado.

Na tabela 5.21, verifica-se os resultados obtidos da análise de variância conjunta para todos os espaçamentos considerados; por esta análise conclui-se que os fatores considerados (pressão de serviço, bocal e espaçamento do aspersor), foram significativos a nível de 1 % de probabilidade. Entretanto, as interações entre os fatores bocal x pressão e espaçamento x bocal x pressão não foram significativas a nível de 1 % de probabilidade para o modelo PA-100. Sendo que a interação bocal x pressão é significativa a nível de 5 % de probabilidade.

Tabela 5.21-Análise de variância dos fatores espaçamento x bocal x pressão de serviço do aspersor modelo PA-100.

CAUSAS DE VARIÇÃO	G.L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
ESPAÇAMENTO	10	23099.7212	2309.9721	926.5390	0.00001
BOCAL	2	40.6202	20.3101	8.1465	0.00064
PRESSAO	3	143.0569	47.6856	19.1269	0.00001
ESP X BOCAL	20	184.4229	9.2211	3.6986	0.00001
ESP X PRESS	30	319.2195	10.6406	4.2680	0.00001
BOC X PRESS	6	34.0605	5.6767	2.2770	0.03637
ESP X BOC X PRES	60	92.7677	1.5461	0.6202	0.98601
RESÍDUO	264	658.1834	2.4931		
TOTAL	395	24572.0522			

Através do teste de Duncan comparou-se os valores médios do CUC para os fatores estudados, a nível de significância de 1 %. Esta análise pode ser visualizada nas tabelas 5.22, 5.23, 5.24, 5.25, 5.26, 5.27, 5.28, 5.29, 5.30, 5.31 e 5.32 para o aspersor modelo PA-100.

5.4.1 - Interação Espaçamento x Bocal para o modelo PA-100

Observa-se na tabela 5.22 que, dentro da interação entre os fatores espaçamentos e bocal 7 x 3 mm não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6 e 6 x 12 m ao nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 12 x 12, 12 x 18, 18 x 18 e 18 x 24 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Na tabela 5.23, nota-se que a interação entre os fatores espaçamentos e bocal 8 x 3 mm não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6, 6 x 12 e 12 x 12 m ao nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 12 x 18, 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Tabela 5.22-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 7 x 3 mm do aspersor modelo PA-100.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	94.744015	a
6 x 12	88.435100	a
12 x 12	72.654204	b
12 x 18	44.998265	c
18 x 18	18.302819	d
18 x 24	1.286202	e
24 x 24	0.000000	e
24 x 30	0.000000	e
30 x 30	0.000000	e
30 x 36	0.000000	e
36 x 36	0.000000	e

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Tabela 5.23-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 8 x 3 mm do aspersor modelo PA-100.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	89.643533	a
6 x 12	83.813343	a
12 x 12	74.258538	a
12 x 18	55.950469	b
18 x 18	33.334868	c
18 x 24	6.888943	d
24 x 24	0.000000	e
24 x 30	0.000000	e
30 x 30	0.000000	e
30 x 36	0.000000	e
36 x 36	0.000000	e

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Observa-se no tabela 5.24 que, dentro da interação entre os fatores espaçamentos e bocal 8 x 5 mm não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6 e 6 x 12 m ao nível de significância de 1 %. Entre os espaçamentos 6 x 12 e 12 x 12 não houve diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade. Os espaçamentos 12 x 12, 12 x 18, 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Tabela 5.24-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 8 x 5 mm do aspersor modelo PA-100.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	94.913640	a
6 x 12	83.084270	ab
12 x 12	77.572386	b
12 x 18	39.422599	c
18 x 18	12.245157	d
18 x 24	2.040826	e
24 x 24	0.046408	f
24 x 30	0.000000	f
30 x 30	0.000000	f
30 x 36	0.000000	f
36 x 36	0.000000	f

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

5.4.2 - Interação Espaçamento x Pressão de serviço para o modelo PA-100

Na interação entre os fatores espaçamentos e pressão de serviço de 200 kPa, tabela 5.25, não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6 e 6 x 12 m ao nível de significância de 1%. Entre os espaçamentos 6 x 12 e 12 x 12 não houve diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade. Os espaçamentos 12 x 12, 12 x 18, 18 x 18 e 18 x 24 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 18 x 24, 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Observa-se na tabela 5.26 que, dentro da interação entre os fatores espaçamentos e pressão de serviço de 300 kPa não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6 e 6 x 12 m ao nível de significância de 1 %. Entre os espaçamentos 6 x 12 e 12 x 12 não houve diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade. Os espaçamentos 12 x 12, 12 x 18, 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Tabela 5.25-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 200 kPa do aspersor modelo PA-100.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	91.919092	a
6 x 12	81.016142	ab
12 x 12	67.141188	b
12 x 18	34.008004	c
18 x 18	4.302531	d
18 x 24	0.337100	e
24 x 24	0.000000	e
24 x 30	0.000000	e
30 x 30	0.000000	e
30 x 36	0.000000	e
36 x 36	0.000000	e

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Tabela 5.26-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 300 kPa do aspersor modelo PA-100.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	92.574483	a
6 x 12	84.231370	ab
12 x 12	73.899931	b
12 x 18	47.881128	c
18 x 18	20.706565	d
18 x 24	3.190785	e
24 x 24	0.000000	f
24 x 30	0.000000	f
30 x 30	0.000000	f
30 x 36	0.000000	f
36 x 36	0.000000	f

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Na interação entre os fatores espaçamentos e pressão de serviço de 400 e 500 kPa, tabela 5.27 e 5.28, não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6, 6 x 12 e 12 x 12 m ao nível de significância de 1%. Os espaçamentos 12 x 12, 12 x 18, 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m diferenciam entre si a nível de significância de 1%. Os espaçamentos 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1%, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Tabela 5.27-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 400 kPa do aspersor modelo PA-100.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	94.628061	a
6 x 12	88.239158	a
12 x 12	80.516803	a
12 x 18	54.688412	b
18 x 18	36.114326	c
18 x 24	7.641109	d
24 x 24	0.077012	e
24 x 30	0.000000	e
30 x 30	0.000000	e
30 x 36	0.000000	e
36 x 36	0.000000	e

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Tabela 5.28-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 500 kPa do aspersor modelo PA-100.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	93.226024	a
6 x 12	86.982655	a
12 x 12	78.048086	a
12 x 18	51.014579	b
18 x 18	29.364892	c
18 x 24	3.044757	d
24 x 24	0.000000	e
24 x 30	0.000000	e
30 x 30	0.000000	e
30 x 36	0.000000	e
36 x 36	0.000000	e

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

5.4.3 - Interação Bocais x Pressão de serviço para o modelo PA-100

Na interação do fatores bocais com a pressão de serviço de 200 e 300 kPa, tabela 5.29 e 5.30, observa-se que não ocorreu diferença significativa a nível de 1 % para os bocais 8 x 3 e 7 x 3 mm. Entre os bocais de 7 x 3 e 8 x 5 mm não houve diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade.

Observa-se nas tabela 5.31 e 5.32 que, dentro da interação entre os fatores bocais e pressão de serviço de 400 e 500 kPa não houve diferença significativa entre os bocais 8 x 5, 8 x 3 e 7 x 3 mm ao nível de significância de 1 %.

Tabela 5.29-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação bocais x pressão de serviço de 200 kPa do aspersor modelo PA-100.

Bocais (mm)	Média CUC (%)	1%
8 x 3	13.827971	a
7 x 3	10.859690	ab
8 x 5	9.330314	b

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Tabela 5.30-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação bocais x pressão de serviço de 300 kPa do aspersor modelo PA-100.

Bocais (mm)	Média CUC (%)	1%
8 x 3	17.243494	a
7 x 3	14.972398	ab
8 x 5	12.192119	b

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Tabela 5.31-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação bocais x pressão de serviço de 400 kPa do aspersor modelo PA-100.

Bocais (mm)	Média CUC (%)	1%
8 x 5	18.958760	a
8 x 3	17.598191	a
7 x 3	15.951156	a

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Tabela 5.32-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação bocais x pressão de serviço de 400 kPa do aspersor modelo PA-100.

Bocais (mm)	Média CUC (%)	1%
8 x 5	17.469374	a
8 x 3	15.105853	a
7 x 3	14.829443	a

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

5.5 - Fatores estudados e o Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para o Modelo PA-150

Para visualizar os resultados obtidos montaram-se uma série de gráficos que relacionam os fatores estudados (pressão de serviço e bocal do aspersor) com o CUC. Nas figuras 5.14, 5.15 e 5.16 (ANEXO 01) observa-se os valores de CUC em função dos espaçamentos para as diferentes pressões e bocais do modelo PA-

150.

Na tabela 5.33, verifica-se os resultados obtidos de análise de variância conjunta para todos os espaçamentos considerados; por esta análise conclui-se que os fatores considerados (pressão de serviço, bocal e espaçamento do aspersor), foram significativos a nível de 1 % de probabilidade. Entretanto, as interações entre os fatores bocal x pressão e espaçamento x bocal x pressão não foram significativas a nível de 5 e 1% de probabilidade para o modelo PA-150.

Tabela 5.33- Análise de variância dos fatores espaçamento x bocal x pressão de serviço do aspersor modelo PA-150.

CAUSAS DE VARIÇÃO	G.L.	S. Q.	Q. M.	VALOR F	PROB. > F
ESPAÇAMENTO	10	22323.9098	2232.3910	594.7780	0.00001
BOCAL	2	554.7027	277.3513	73.8950	0.00001
PRESSAO	3	181.0033	60.3344	16.0750	0.00001
ESP X BOCAL	20	712.4798	35.6240	9.4913	0.00001
ESP X PRESS	30	201.9098	6.7303	1.7932	0.00873
BOC X PRESS	6	44.8124	7.4687	1.9899	0.06676
ESP X BOC X PRES	60	132.0004	2.3167	0.6172	0.98673
RESÍDUO	264	990.8760	2.4931		
TOTAL	395	25148.6941			

Através do teste de Duncan comparou-se os valores médios do CUC para os fatores estudados, a nível de significância de 1 %. Esta análise pode ser visualizada na tabela 5.34, 5.35, 5.36, 5.37, 5.38, 5.39 e 5.40 para o aspersor modelo PA-150.

5.5.1 - Interação Espaçamento x Bocal para o modelo PA-150

Observa-se na tabela 5.34 que, dentro da interação entre os fatores espaçamentos e bocal 10 x 5 mm não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6, 6 x 12 e 12 x 12 m ao nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 12 x 18, 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Na tabela 5.35, nota-se que a interação entre os fatores espaçamentos e bocal 12 x 5 mm não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6, 6 x 12 e 12 x 12 m ao nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 12 x 18 e 18 x 18 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Nos espaçamentos de 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m ocorreu diferença significativa a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 24 x 24 e 24 x 30 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Não houve diferença significativa a nível de 1% de probabilidade para os espaçamentos 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m.

Tabela 5.34-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 10 x 5 mm do aspersor modelo PA-150.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	94.986635	a
6 x 12	88.207165	a
12 x 12	83.134969	a
12 x 18	56.363907	b
18 x 18	40.806921	c
18 x 24	13.542349	d
24 x 24	1.413203	e
24 x 30	0.000000	e
30 x 30	0.000000	e
30 x 36	0.000000	e
36 x 36	0.000000	e

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Tabela 5.35-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 12 x 5 mm do aspersor modelo PA-150.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	94.392242	a
6 x 12	89.319439	a
12 x 12	83.993750	a
12 x 18	64.065182	b
18 x 18	49.839719	b
18 x 24	18.587535	c
24 x 24	2.219269	d
24 x 30	0.332234	de
30 x 30	0.000000	e
30 x 36	0.000000	e
36 x 36	0.000000	e

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Observa-se na tabela 5.36 que, dentro da interação entre os fatores espaçamentos e bocal 14 x 5 mm não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6, 6 x 12, 12 x 12 e 12 x 18 m ao nível de significância de 1 %. Entre os espaçamentos 6 x 12, 12 x 12, 12 x 18 e 18 x 18 não houve diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade. Os espaçamentos 18 x 18, 18 x 24, 24 x 24, 24 x 30 e 30 x 30 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Tabela 5.36-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x bocal 14 x 5 mm do aspersor modelo PA-150.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	94.030680	a
6 x 12	89.381814	ab
12 x 12	83.083211	ab
12 x 18	78.190649	ab
18 x 18	73.760721	b
18 x 24	52.459543	c
24 x 24	28.892857	d
24 x 30	10.101300	e
30 x 30	1.071661	f
30 x 36	0.000000	f
36 x 36	0.000000	f

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

5.5.2 - Interação Espaçamento x Pressão de serviço para o modelo PA-150

Na interação entre os fatores espaçamentos e pressão de serviço de 200 kPa, tabela 5.37, não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6 , 6 x 12 e 12 x 12 m ao nível de significância de 1%. Entre os espaçamentos 12 x 12 e 12 x 18 m não houve diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade. Para os espaçamentos 12 x 18 e 18 x 18 não ocorreu diferença significativa a nível de 1% de probabilidade. Os espaçamentos 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 24 x 24, 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Tabela 5.37-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 200 kPa do aspersor modelo PA-150.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	92.242792	a
6 x 12	84.551175	a
12 x 12	78.199883	ab
12 x 18	59.660810	bc
18 x 18	45.271931	c
18 x 24	13.185789	d
24 x 24	1.157496	e
24 x 30	0.000000	e
30 x 30	0.000000	e
30 x 36	0.000000	e
36 x 36	0.000000	e

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Observa-se na tabela 5.38 que, dentro da interação entre os fatores espaçamentos e pressão de serviço de 300 kPa não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6, 6 x 12 e 12 x 12 m ao nível de significância de 1 %. Entre os espaçamentos 12 x 12 e 12 x 18 m não houve diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade. Também não ocorreu diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade para os espaçamentos 12 x 18 e 18 x 18 m. Os espaçamentos 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 24 x 24 e 24 x 30 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 24 x 30, 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1%, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Tabela 5.38-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 300 kPa do aspersor modelo PA-150.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	94.688393	a
6 x 12	90.301805	a
12 x 12	84.991468	ab
12 x 18	66.357834	bc
18 x 18	55.430581	c
18 x 24	27.523892	d
24 x 24	5.159896	e
24 x 30	1.621752	ef
30 x 30	0.189748	f
30 x 36	0.000000	f
36 x 36	0.000000	f

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Na interação entre os fatores espaçamentos e pressão de serviço de 400 kPa, tabela 5.39, não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6, 6 x 12 e 12 x 12 m ao nível de significância de 1%. Entre os espaçamentos 12 x 12 e 12 x 18 m não houve diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade. Também não ocorreu diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade para os espaçamentos 12 x 18 e 18 x 18 m. Os espaçamentos 18 x 18, 18 x 24, 24 x 24, 24 x 30 e 30 x 30 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Tabela 5.39-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 400 kPa do aspersor modelo PA-150.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	96.366074	a
6 x 12	90.605152	a
12 x 12	84.929254	ab
12 x 18	67.564373	bc
18 x 18	55.146271	c
18 x 24	30.824547	d
24 x 24	12.848392	e
24 x 30	3.610758	f
30 x 30	0.408831	g
30 x 36	0.000000	g
36 x 36	0.000000	g

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

Para a interação entre os fatores espaçamentos e pressão de serviço de 500 kPa, tabela 5.40, não houve diferença significativa entre os espaçamentos 6 x 6, 6 x 12 e 12 x 12 m ao nível de significância de 1%. Entre os espaçamentos 6 x 12, 12 x 12 e 12 x 18 m não houve diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade. Também não ocorreu diferença significativa a nível de 1 % de probabilidade para os espaçamentos 12 x 18 e 18 x 18 m. Os espaçamentos 18 x 18, 18 x 24, 24 x 24, 24 x 30 e 30 x 30 m diferenciam entre si a nível de significância de 1 %. Os espaçamentos 30 x 30, 30 x 36 e 36 x 36 m não diferenciam entre si a nível de significância de 1 %, diferenciando-se dos demais ao mesmo nível de significância.

Tabela 5.40-Teste de Duncan de comparação de médias de CUC para a interação espaçamento x pressão de serviço de 500 kPa do aspersor modelo PA-150.

ESPAÇAMENTO (m x m)	Média CUC (%)	1%
6 x 6	95.941866	a
6 x 12	90.491390	ab
12 x 12	85.605425	ab
12 x 18	70.269220	bc
18 x 18	60.570615	c
18 x 24	34.663730	d
24 x 24	14.797683	e
24 x 30	4.042154	f
30 x 30	0.253481	g
30 x 36	0.000000	g
36 x 36	0.000000	g

* - Média seguida de mesma letra não difere significativamente a nível de significância indicado.

5.6 - Ajuste do Coeficiente de Atrito

Na tabela 5.41, observa-se os valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta ($Y = a + b.X$), além do coeficiente de determinação (R^2) entre os dados reais (Y) obtidos por CARVALHO (1991) e os dados simulados (X), para as metodologias do cálculo do coeficiente de atrito (C_d) propostas por FUKUI et. al. (1980) e HILLS e GU (1989).

Tabela 5.41-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados reais obtidos por CARVALHO (1991) e os dados simulados.

Metodologia de estima.	Coef. Linear (a) (metros)	Coef. Angular (b) (-)	Coef. Deter. (R^2)
FUKUI (1980)	- 5.95292	2.01109	0.9328
HILLS (1989)	- 8.83125	2.51048	0.9246

O método de estimativa do coeficiente de atrito (C_d) que apresentou o maior coeficiente de determinação (R^2) entre os dados simulados e os dados reais obtidos por CARVALHO (1991), foi a metodologia proposta por FUKUI et. al. (1980).

Empregando-se valores percentuais da velocidade inicial do jato (100, 90, 80, 70 e 60 %), para estimar a quantidade de energia da velocidade que é absorvida pelo defletor. Na tabela 5.42, observa-se os valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta ($Y = a + b.X$), além do coeficiente de determinação (R^2) entre os dados reais (Y) obtidos por CARVALHO

(1991) e os dados simulados (X), com a metodologia de FUKUI (1980). Considerou-se o percentual de 70 % da velocidade inicial do jato para estimar a quantidade de energia que é absorvida pelo defletor no restante do trabalho.

Tabela 5.42-Valores dos coeficientes lineares e ângulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados reais obtidos por CARVALHO (1991) e os dados simulados para valores percentuais da velocidade inicial.

Valores Percentuais (%)	Coef. Linear (a) (metros)	Coef. Angular (b) (-)	Coef. Deter. (R ²)
100	- 5.95292	2.01109	0.9328
90	- 6.28692	2.15256	0.9362
80	- 6.68423	2.33015	0.9390
70	- 7.16689	2.56019	0.9405
60	- 7.76319	2.86950	0.9392

5.7 - Análise de Sensibilidade

Com a realização da análise de sensibilidade dos parâmetros envolvidos no modelo (pressão de operação, coeficiente de descarga, ângulo de inclinação do bocal, temperatura do ar e velocidade e ângulo de incidência do vento) constatou-se quais são os que necessitam maior atenção na sua determinação.

De acordo com a figura 5.17 observou-se que o parâmetro coeficiente de descarga (C) apresenta uma maior sensibilidade em relação aos demais parâmetros relacionados anteriormente.

Verifica-se que o comportamento deste não é linear, havendo uma maior variação da distância percorrida em relação a variação deste, quando ocorre uma diminuição do parâmetro.

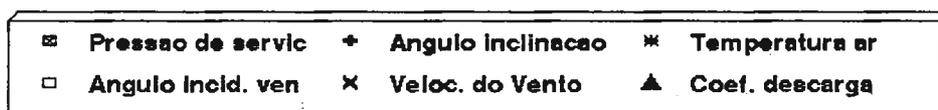
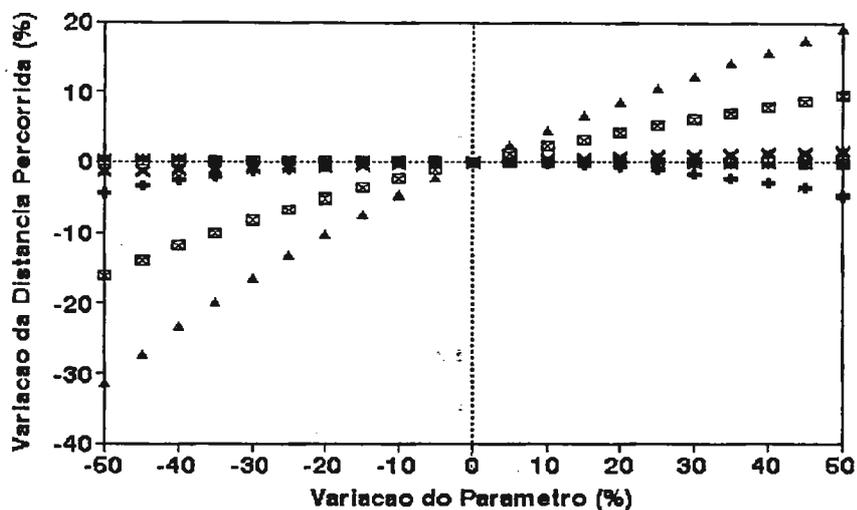


Figura 5.17-Varição da distância percorrida pela gota d'água em relação a variação dos parâmetros do modelo.

Com esta análise constatou-se que o parâmetro coeficiente de descarga do aspersor é um fator importante a ser considerado no modelo. No entanto, alguns autores como FUKUI (1980), VON BERNUTH e GILLEY (1984), SOARES (1986), VORIES, VON BERNUTH e MICKELSON (1987) e SEGNER, NIR e VON BERNUTH (1991) empregaram valores fixos para este parâmetro em diferentes aspersores, podendo ocasionar erros sensíveis na simulação da distância percorrida

pelas gotas.

O mesmo comportamento do parâmetro pressão de operação do bocal (H) pode ser observado na figura 5.17 na análise de sensibilidade. Este mostrou-se ser menos sensível que o parâmetro anterior, apresentando uma menor variação da distância percorrida pela gota para a mesma variação percentual dos parâmetros.

O parâmetro ângulo de inclinação do bocal influencia pouco na sensibilidade do modelo, sendo este um parâmetro constante devido a construção do aspersor.

Não ocorreu praticamente nenhuma variação na sensibilidade do modelo para o parâmetro temperatura do ar. Desta forma verifica-se que a viscosidade do ar não afeta sensivelmente a trajetória da gota para este modelo.

Através da figura 5.18 verifica-se que o ângulo de incidência do vento apresenta uma maior influência na sensibilidade do modelo que a própria velocidade do vento. Constatou-se desta forma, que a recomendação proposta por BERNARDO (1989) de colocar as linhas laterais da irrigação por aspersão perpendicularmente a direção predominante do vento é condizente com os resultados obtidos pela análise de sensibilidade do modelo proposto.

que para o aspersor PA-100 bocal 8 x 3 mm, o modelo subestima valores de precipitação até a faixa de 12 à 14 metros e ocorre uma superestimação após esta. Verificou-se também, que o modelo tende a simular o comportamento da curva de precipitação ao longo do raio de alcance, principalmente para as pressões de 400 e 500 kPa.

Para o aspersor PA-100 bocal 8 x 5 mm observa-se, conforme as figuras 5.27, 5.28, 5.29 e 5.30 (ANEXO 02), que o modelo subestima os valores de precipitação até a faixa de 8 a 12 metros, e superestima estes após esta faixa, para as pressões de 200, 300 e 400 kPa. Para a pressão de 500 kPa, ocorreu uma superestimação da precipitação a partir do raio de 6 metros.

Observa-se, figura 5.31, 5.32, 5.33 e 5.34 (ANEXO 02), que o modelo subestimou os valores de precipitação até a faixa de 12 a 13 metros e superestima este após esta faixa, para o aspersor PA-150 bocal 10 x 5 mm trabalhando com as pressões de 200, 300 e 400 kPa. Este mesmo comportamento foi verificado para a pressão de 500 kPa, no entanto a faixa onde ocorreu esta variação encontra-se ao redor de 10 metros de raio de alcance. Verifica-se que o modelo seguiu o comportamento da distribuição da precipitação ao longo do raio de alcance, principalmente para a pressão de 500 kPa.

Com a figura 5.35, 5.36, 5.37 e 5.38 (ANEXO 02) , observa-se que ocorreu uma subestimação pelo modelo dos valores de precipitação até a faixa de 13 a 15 metros de raio, e uma superestimação destes após esta faixa, para o aspersor PA-150

bocal 12 x 5 mm trabalhando nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa. O modelo apresentou o mesmo comportamento da distribuição da precipitação ao longo do raio, principalmente para a pressão de 500 kPa.

A partir dos gráficos 5.39, 5.40, 5.41 e 5.42 (ANEXO 02) para o aspersor PA-150 bocal 14 x 5 mm e pressões de 200, 300 e 400 kPa, observa-se que o modelo subestima os valores de precipitação até a faixa de 18 x 21 metros. Após esta ocorre uma superestimação dos valores precipitados.

Na pressão de 500 kPa ocorre o mesmo comportamento, entretanto a faixa de variação ocorreu entre os 14 a 16 metros. Para esta mesma pressão os valores do modelo apresentou o mesmo comportamento da distribuição de precipitação ao longo do raio de alcance observada à campo.

Plotando-se os valores de precipitação observada em relação aos valores obtidos pela simulação para o modelo PA-100, verifica-se que a relação existente entre estes, mostrou-se próxima da relação 1:1, observada na figura 5.43 para os bocais de 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm. Nota-se que os valores obtidos da simulação para o bocal 8 x 5 mm encontra-se mais próximo dos valores reais observados, verificando-se que o modelo de distribuição de precipitação apresenta melhor aderência para este bocal dentro do aspersor PA-100.

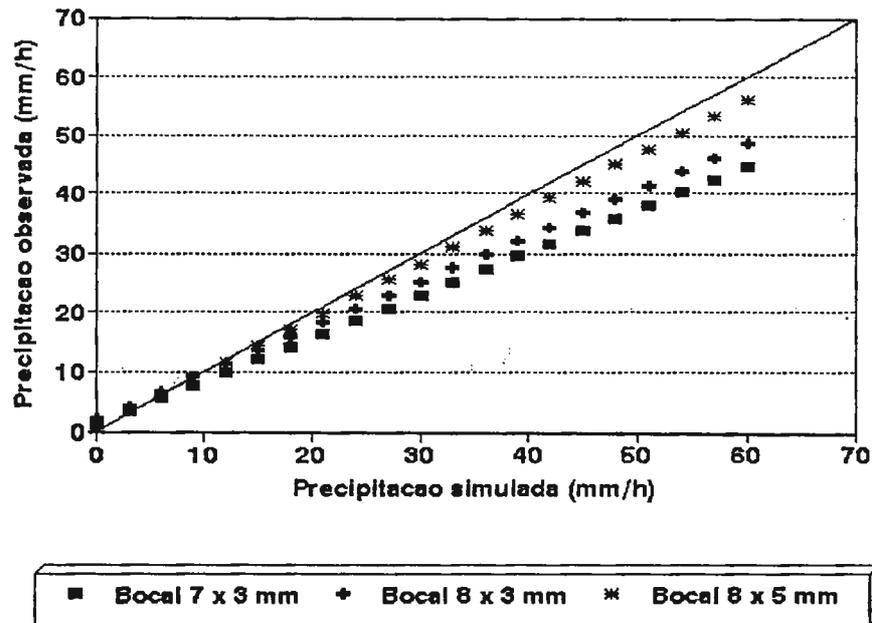


Figura 5.43-Comparação entre a precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-100 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

A partir de regressão linear obteve-se equações de retas que correlacionam valores de precipitação observada e simuladas. Os coeficientes angulares e lineares destas encontram-se nas tabelas 5.43, 5.44, 5.45, 5.46, 5.47 e 5.48.

Tabela 5.43-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (mm/h)	Coef. Angular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	1.452397	0.593574	0.768951
300	1.331786	0.638783	0.479689
400	0.967572	0.765233	0.471842
500	0.534474	0.924289	0.683108

Tabela 5.44-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (mm/h)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	2.990947	0.343311	0.075095
300	3.220126	0.526641	0.157386
400	1.440302	0.865252	0.329979
500	0.130670	1.190786	0.591252

Tabela 5.45-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (mm/h)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	7.667371	-0.130230	0.007340
300	-0.400580	1.064428	0.651666
400	-0.939250	1.392835	0.755373
500	-1.746540	1.061979	0.915492

Tabela 5.46-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (mm/h)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	8.470979	-0.347340	0.097525
300	2.716999	0.806657	0.108264
400	-5.057930	2.140549	0.788547
500	-1.895840	1.249189	0.941034

Tabela 5.47-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (mm/h)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	15.493880	-0.845400	0.656324
300	8.708643	0.061549	0.000963
400	-1.727630	1.538781	0.616737
500	-2.239410	1.618247	0.817351

Tabela 5.48-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de precipitação observada (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (mm/h)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	12.299970	-0.194390	0.078334
300	1.596162	1.516403	0.206708
400	-4.196280	2.111124	0.541619
500	-3.081360	1.537625	0.890069

Para cada bocal dos aspersores testados, verificou-se qual foi a pressão que o modelo proposto apresentou a melhor aderência em seus valores simulados de precipitação. Observa-se que, para o bocais 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm a pressão que apresenta melhor aderência foi 500 kPa. Nota-se que para manter a aderência no modelo, a pressão de serviço não variou a medida que aumentava-se o diâmetro do bocal do aspersor PA-100, verificado nas figuras 5.44, 5.45 e 5.46 no anexo 03.

Através dos resultados obtidos , verifica-se que o modelo proposto não se adapta para estimar a distribuição de precipitação do aspersor PA-100 bocal 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm trabalhado com baixa pressão de serviço (200, 300 e 400 kPa). Para a pressão de 500 kPa o modelo apresentou uma maior aderência nos diferentes bocais. A melhor aderência do modelo proposto para o aspersor PA-100, foi verificada para o Bocal 8 x 5 mm na pressão de 500 kPa.

Na correlação existente entre os valores de precipitação observada e simulada pelo modelo, verifica-se que dentro dos diferentes bocais do aspersor PA-150, o bocal 10 x 5 mm apresenta a melhor aderência dos valores simulados aos observados, como constata-se na figura 5.47.

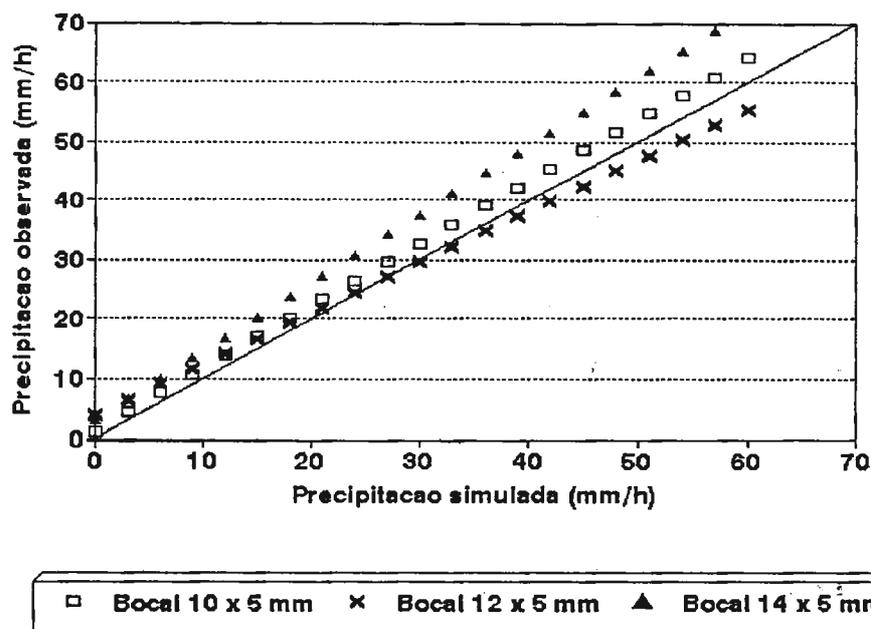


Figura 5.47-Comparação entre a precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-150 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Dentro das diferentes pressões empregadas no bocal 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm, a pressão de 500 kPa apresenta a melhor aderência dos valores de precipitação simulados pelo modelo proposto.

Observa-se também, que para manter a aderência do modelo, não ocorreu variação da pressão de serviço à medida que aumentava-se o diâmetro do bocal do aspersor PA-150, verificado na figura 5.48, 5.49 e 5.50 no anexo 03.

Através dos resultados obtidos, verifica-se que o modelo proposto não se adapta para estimar a distribuição de precipitação do aspersor PA-150 bocal 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm trabalhado com baixa pressão de serviço (200, 300 e 400 kPa).

Para a pressão de 500 kPa o modelo apresentou uma maior aderência nos diferentes bocais. A melhor aderência do modelo proposto para o aspersor PA-150, foi verificada para o Bocal 10 x 5 mm na pressão de 500 kPa.

Na comparação entre os modelos de aspersores, verificou-se que o modelo matemático de uniformidade de distribuição proposto apresenta melhor aderência nos valores de precipitação para o aspersor PA-100 nos diferentes bocais e pressões, conforme figura 5.51.

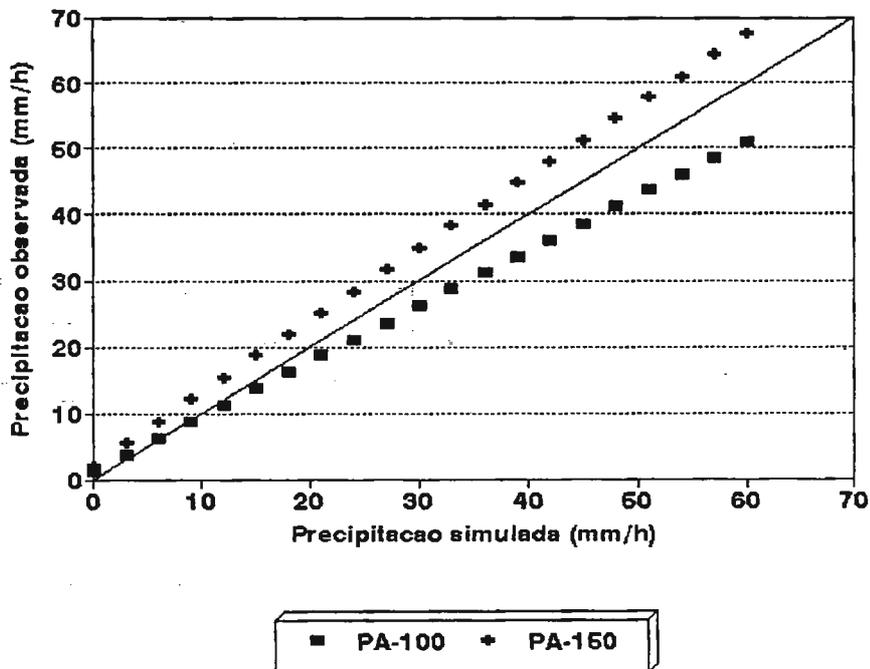


Figura 5.51-Comparação entre a precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para os aspersores PA-100 e PA-150 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

5.9 - Comparação do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição de CHRISTIANSEN (CUC) Observado com o gerado pelo Modelo

A partir do perfil de distribuição da precipitação ao longo do raio de alcance do aspersor, determinou-se o coeficiente de uniformidade de distribuição de CHRISTIANSEN (CUC) tanto para os dados observados como gerados pelo modelo proposto. O resultado desta metodologia pode ser verificada nas figuras 5.52, 5.53, 5.54, 5.55, 5.56 e 5.57 no anexo 04.

Para a comparação dos valores do CUC observado à campo com o valores obtidos a partir da simulação, empregou-se a regressão linear obtendo-se a equação da reta. Os coeficientes angulares e lineares destas encontram-se nos quadros 5.49, 5.50, 5.51, 5.52, 5.53 e 5.54.

Tabela 5.49-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (%)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	13.149200	1.014758	0.960734
300	3.558532	1.102746	0.979052
400	-1.681380	1.113052	0.982260
500	-3.076360	1.131430	0.987054

Tabela 5.50-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (%)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	7.937811	1.076073	0.949682
300	7.077912	1.071375	0.947741
400	-3.350640	1.158328	0.965117
500	-2.818070	1.105065	0.983947

Tabela 5.51-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (%)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	3.983914	0.944313	0.969620
300	-4.722330	1.040763	0.992206
400	-5.233020	1.064907	0.983821
500	-10.397500	1.056111	0.986267

Tabela 5.52-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (%)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	8.601583	1.193268	0.906581
300	-8.569120	1.129888	0.924824
400	-13.346400	1.124470	0.939135
500	-7.156300	1.038278	0.970016

Tabela 5.53-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (%)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	14.381720	1.105677	0.867031
300	-9.661460	1.221425	0.897952
400	-4.084800	1.102333	0.988374
500	-8.245810	1.139582	0.970524

Tabela 5.54-Valores dos coeficientes lineares e angulares da equação da reta e do coeficiente de determinação entre os dados de CUC observado (Y) e os simulados pelo modelo (X) do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Pressão de serviço (kPa)	Coef. Linear (a) (%)	Coef. Ângular (-)	Coef. Deter. (R ²)
200	21.900640	0.948084	0.886553
300	-1.273435	1.095895	0.966461
400	-9.209700	1.148651	0.965242
500	-4.389920	1.079376	0.979184

Plotando-se os valores dos CUC obtidos a partir dos dados observados em relação aos valores dos CUC obtidos através da simulação para o modelo PA-100, verifica-se que a relação existente entre estes mostrou-se próxima da relação 1:1, observada na figura 5.58 para os bocais de 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm. Nota-se que os valores obtido pela simulação para o bocal 8 x 5 mm encontra-se mais próximo dos valores reais observados, verificando-se que o modelo proposto de distribuição de precipitação apresenta melhor aderência para este bocal dentro do

aspersor PA-100.

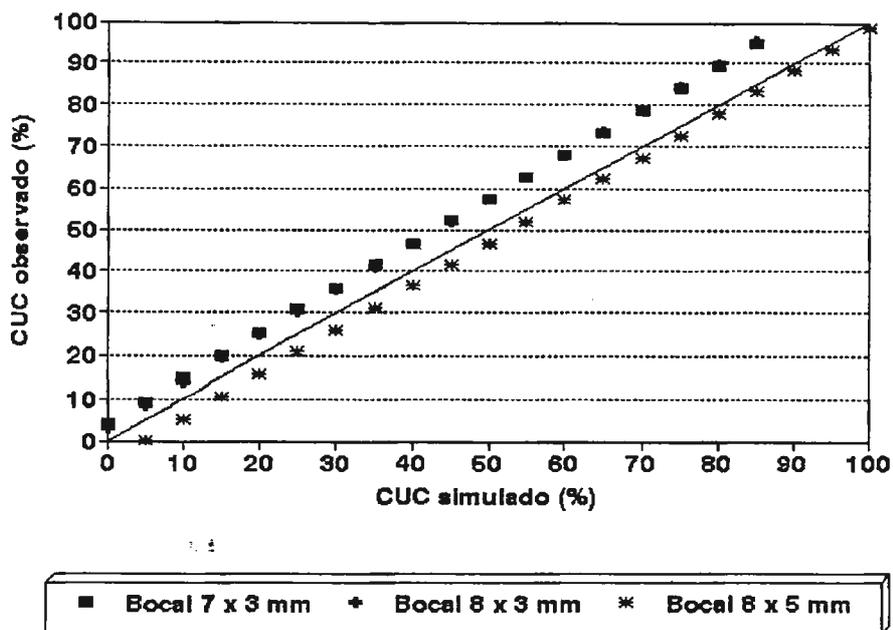


FIGURA 5.58- Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-100 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Para cada bocal dos aspersores testados, verificou-se qual foi a pressão que o modelo proposto apresentou a melhor aderência em seus valores simulados de CUC. Observa-se que, para o bocal 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm a pressão que apresentou melhor aderência foi 500 kPa, dentro do aspersor PA-100.

Na correlação existente entre os valores de CUC obtidos a partir de dados observados e valores de CUC gerados na simulação do modelo, verifica-se que dentro dos diferentes bocais do aspersor PA-150 o bocal 10 x 5 mm apresenta a melhor aderência entre valores simulados aos observados, como constata-se na figura 5.59.

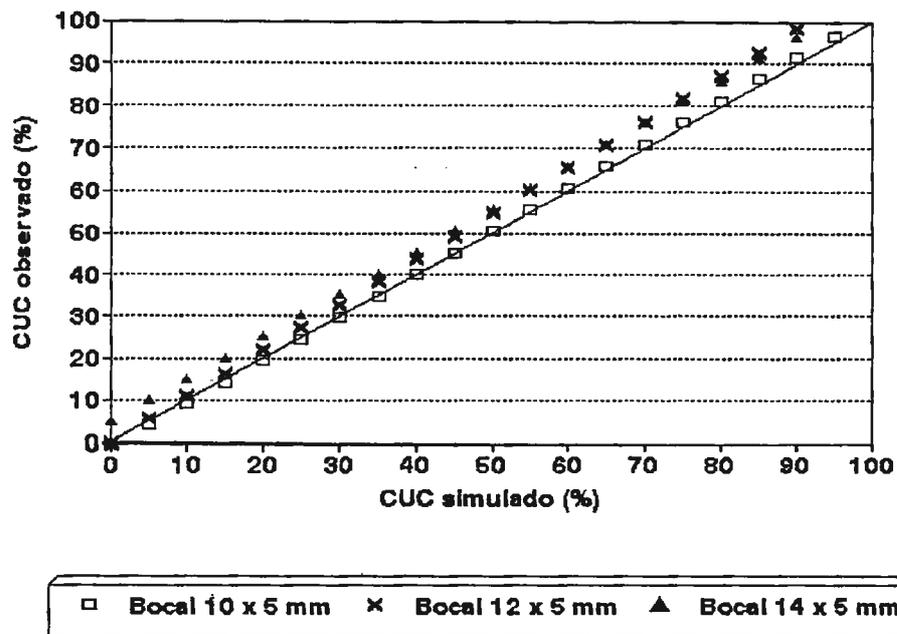


FIGURA 5.59 - Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-150 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

Dentro das diferentes pressões empregadas no bocal 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm, a pressão de 500 kPa apresenta a melhor aderência dos valores de CUC obtidos da simulação do modelo proposto do aspersor PA-150.

Na comparação entre os modelos de aspersores, verificou-se que o modelo matemático de uniformidade de distribuição proposto apresenta melhor aderência nos valores de CUC para o aspersor PA-100 e PA-150 nos diferentes bocais e pressões, não havendo diferença entre estes conforme figura 5.60.

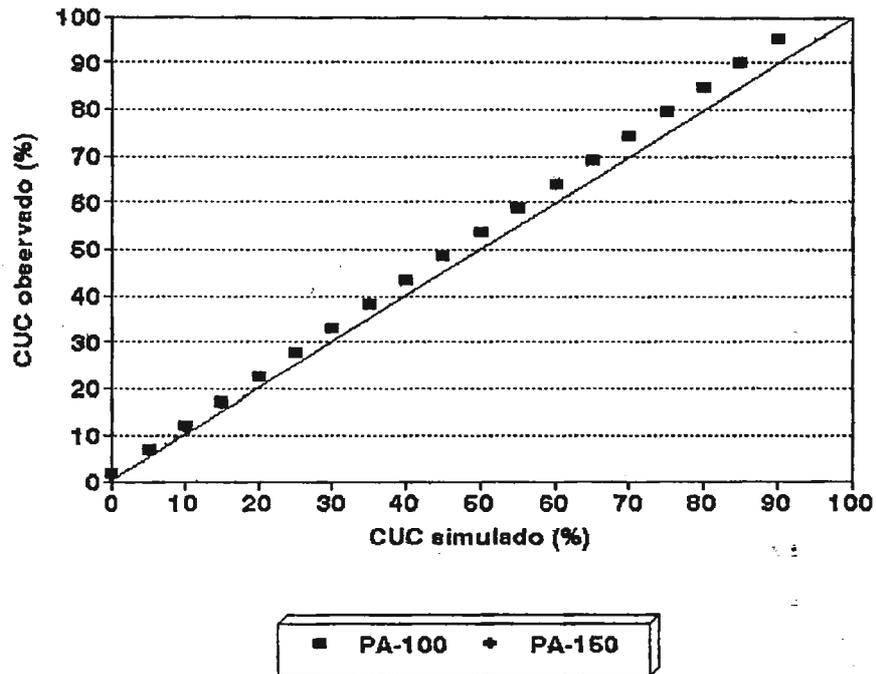


FIGURA 5.60 - Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para os aspersores PA-100 e PA-150 para as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dentro do objetivo de desenvolver um modelo matemático para estimativa da distribuição da água em irrigação por aspersão, este modelo demonstrou ser apropriado para esta determinação. Com o emprego deste modelo pode-se verificar a distribuição da água, na superfície do solo, de um sistema de irrigação, para o melhor aproveitamento dos recursos hídricos. Além disso, serve como ferramenta básica para as indústrias nos projetos da construção de aspersores.

No entanto, o modelo proposto apresenta a necessidade das características operacionais dos aspersores, da distribuição do tamanho das gotas e da quantidade de energia e vazão desviada pelo braço do aspersor, para simular o perfil de distribuição. O aperfeiçoamento do mesmo pode ser voltado em considerar o efeito da evaporação da água durante a trajetória percorrida pela gota e da quantificação prévia da energia e vazão desviada pelo braço.

De acordo com os resultados obtidos dos ensaios dos aspersores PA-100 e PA-150, com a metodologia empregada na obtenção do coeficiente de uniformidade e no desenvolvimento do modelo de trajetória balística proposto, conclui-se que:

- A pressão de operação dos aspersores, o diâmetro do bocal e o espaçamento entre aspersores interferem na uniformidade de distribuição de água em ambos os aspersores.

- Em espaçamentos reduzidos (6 x 6, 6 x 12 e 12 x 12 m) os

bocais 7 x 3, 8 x 3 e 8 x 5 mm do aspersor PA-100, não diferenciam significativamente quanto ao valor do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) apresentado. Verifica-se o mesmo comportamento do aspersor para as pressões de operação de 200, 300, 400 e 500 kPa. Para espaçamentos maiores (12 x 18, 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m) esta diferença é significativa tanto para bocais como pressões empregadas.

- Em espaçamentos reduzidos (6 x 6, 6 x 12, 12 x 12 m) as pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-150, não diferenciam significativamente quanto ao valor do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) apresentado. Verifica-se o mesmo comportamento do aspersor para os bocais 10 x 5, 12 x 5 e 14 x 5 mm. Para espaçamentos maiores (12 x 18, 18 x 18, 18 x 24, 24 x 24 e 24 x 30 m) esta diferença é significativa tanto para bocais como pressões empregadas.

- A metodologia proposta por FUKUI et. al. (1980) representou melhor os dados obtidos por CARVALHO (1991), apresentando um percentual de velocidade inicial do jato de 70 %, como estimativa da quantidade de energia que é absorvida pelo defletor.

- Com a análise de sensibilidade constatou-se que o fator que apresenta a maior interferência no modelo de distribuição de água é o coeficiente de descarga do aspersor (C), devendo este ser determinado e considerado na simulação da distância percorrida pelas gotas d'água.

- A recomendação proposta por BERNARDO (1989) em colocar as

linhas laterais do sistema de irrigação por aspersão perpendicularmente a direção predominante do vento, pode ser confirmada através da análise de sensibilidade do modelo de trajetória balística.

- O modelo de trajetória balística para o cálculo da distribuição da precipitação ao longo do raio de alcance do aspersor se adequa aos aspersores PA-100 com bocal 8 x 5 mm e PA-150 com bocal 10 x 5 mm, ambos com a pressão de operação de 500 kPa. Esta mesma constatação foi verificada para o cálculo do coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) a partir dos dados gerados pela simulação.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ALLISON, S. V. e HESSE, V. L. 1965. Simulation of wind effectson sprinkler performance. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.95, n.4, p.83-85,89.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1985 . *Aspersores para irrigação/avaliação da distribuição de água: NBR 8989*. São Paulo. 9p.
- 3 BERNARDO, S. 1989. *Manual de irrigação*. 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV. 596p. p.394-399.
- 4 BEAN, A.G.M. 1965. Water distribution by irrigation sprinklers. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Cambridge -UK. v.10, p.314-321.
- 5 BILANSKI, W. K., KIDDER, E. H. 1958. Factors that affect the distribution of water from a medium-pressure rotary irrigation sprinkler. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.1, n.1, p.19-28.
- 6 BRANSCHIED, V.O., HART, W.E. 1968. Predicting field distributions tions of sprinkler systems. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.11, n.6, p.801-808.
- 7 CARVALHO, J. A. 1991. *Tamanho de gotas e uniformidade de distribuição de água de dois aspersores de média pressão*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 73 p. Dissertação de Mestrado.
- 8 CENTRE NATIONAL DU MACHINISME AGRICOLE DU GENIE RURAL DES EAUX ET DES FORETS. (1980). *Les installations d'essais de materiels d'irrigation du Tholonet*. Tholonet, Division Irrigation, s.d. 22 p.
- 9 CHANG, J. 1968. *Climate end agriculture; an ecological survey*. Chicago, Aldine. 324 p. passim.

- 10 CHEN, D., WALLENDER, W.W. 1984. Economic sprinkler selection, spacing and orientation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.27, n.3, p.737-743.
- 11 CHRISTIANSEN, J.E. 1941. The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v.22, n.3, p.89-92.
- 12 CHRISTIANSEN, J.E. 1965. Discussion on non-uniformity and sprinkler application efficiency, by D. T. Howell. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.91, n.1, p.224-226.
- 13 COELHO, R. D. 1990. *Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a uniformidade de aplicação de água e produtividade das culturas*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP. 141p. Dissertação de Mestrado.
- 14 COELHO, R.D., BOTREL, T.A., OLITTA, A.F.L. 1992. Ensaio da uniformidade de aplicação d'água dos aspersores com disposição radial de coletores na área. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Z1., 1992, Santa Maria. Santa Maria: SBEA: UFSM/Departamento de Engenharia Rural. 4v. em 5. v.2B, p.901-914.
- 15 CORRY, J.A. 1958. *Sprinkler System Evaluation*. University of California, Davis.
- 16 DYLLA, A.S., SHULL, H. 1983. Estimating losses from rotating boom sprinkler. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.26, n.1, p.123-125.
- 17 FROST, K. R., SCHWALEN, H. C. 1955. Sprinkler evaporation losses. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v.36, p.526-528.
- 18 FUKUI, Y., NAKANISHI, K., OKAMURA, S. 1980. Computer evaluation of sprinkler irrigation uniformity. *Irrigation Science*, New York, v.2, p.23-32.

- 19 FISCHER, G. R., WALLENDER, W. W. 1988. Collector size and test duration effects on sprinkler water distribution measurement. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.31, n.2, p.538-542.
- 20 GOMES, F. P. 1987. *Curso de estatística experimental*. 12.ed. Piracicaba: Nobel. 467p.
- 21 GREEN, R. L. 1952. Evaluation of air resistance to freely falling drops of water. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v.33, p.28.
- 22 GRIFFIN, S.G. 1978. Computer programming solid set systems. ASAE papers No. 78-2012, St. Joseph, ASAE.
- 23 HART, W. E. 1961. Overhead irrigation pattern parameters. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v.42, n.7, p.345-355.
- 24 HART, W. E. 1972. Subsurface distribution of non-uniformly applied surface waters. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, july-aug., p.656-661 and 666.
- 25 HILLS, D. J., GU, Y. 1989. Sprinkler volume mean droplet diameter as a function of pressure. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.32, n.2, p.471-476.
- 26 KELLER, J. 1984. *Sprinkler irrigation*. Utah State University, Logan, U. T. 621 p.
- 27 KOHL, R. A. 1974. Drop size distribution from medium-sized agricultural sprinklers. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.15, n.2, p.690-693.
- 28 LAWS, J. O. 1941. Measurement of fall-velocity of water-drops 5nd rain-drops. *Transactions of the American Geophysical Union*, Washington, v.22, p.709-721.
- 29 LAWS, J. O., PARSONS, D. A. 1943. The relation of raindrop-size to intensity. *Transactions of the American Geophysical Union*, Washington, v.24, p.452-460.

- 30 LIST, R. J. 1966. *Smithsonian Misc. Collections*, Vol. 114: Smithsonian meteorological tables. Smithsonian Institute, Washington. 527p.
- 31 LITTLE, T.M. e HILLS, F.J. 1978. *Agricultural experimentation*. New York: John Wiley and Sons. 350 p.
- 32 NEVES, E. T. 1989. *Curso de hidráulica*. 9.ed. São Paulo: Globo, 577p.
- 33 OLIVEIRA, R. A., RAMOS, M. M., SOARES, A. A., DENICULI, W., 1991. Distribuição de gotas, por tamanho, de um aspersor fixo/1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20. 1991, Londrina. *Anais*. Londrina: SBEA. 2v. v.1, p.428-450.
- 34 OLITTA, A. F. L. 1989. *Os métodos de irrigação*. São Paulo: Nobel, 267p.
- 35 PAIR, C. H. 1968. Water distribution under sprinkler irrigation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.11, n.5, p.648-651.
- 36 PAIR, C.H., HINZE, W.W., REID, C., FROST, K.R. 1969. *Sprinkler irrigation*. Sprinkler Association, Washington, 444p.
- 37 PAIVA, J.B.D. 1980. *Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos/ USP. 333 p. Dissertação de Mestrado.
- 38 PRESS, W. H., FLANNERY, B. P., TEUKOLSKY, S. A. e VETTERLING, W. T. 1989. *Numerical Recipes*. Cambridge: Cambridge University Press. 702 p.
- 39 SCALOPPI, E. J. COLOMBO, A. e GIL, O. F. 1985. Desempenho de aspersores rotativos com bocal convergente e anel. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.20, n.9, p.1077-1084.
- 40 SEGNER, I. 1963. Water distribution from medium pressure sprinklers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.89, n.2, p.13-29.

- 41 SEGNER, I. 1965. Tangential velocity of sprinkler drops. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.8, n.1, p.90-93.
- 42 SEGNER, I., NIR, D., VON BERNUTH, R.D. 1991. Simulation of wind-distorted sprinkler patterns. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.117, n.2, p.285-306.
- 43 SNEDECOR, G. W. e COCHRAN, W. G. 1981. *Statistical methods*. 7.ed. Ames, Iowa, USA: The Iowa State University Press. 507 p.
- 44 SOARES, A. A. 1986. *A computer model to study the influence of the sprinkler riser angle, nozzle angle and soil surface slope on the uniformity of distribution*. Logan: Utah State University. 126p. Tese PhD.
- 45 SOIL CONSERVATION SERVICE. 1960. *National Engineering Handbook*, section 15, chapter 11 - Sprinkler Irrigation, U. S. Government Printing Office.
- 46 STANHILL, B. 1969. A simple instrument for the field measurement of turbulent diffusion flux. *Journal of Applied Meteorology*. v.8, p.509-513.
- 47 STILLMUNKES, R. T., JAMES, L. C. 1982. Impact energy of water droplets from irrigation sprinklers. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.25, n.1, p.130-133.
- 48 TANNER, C. B., PELTON, W. L. 1960. Potential evapotranspiration estimates by the approximate energy balance method of Penman. *Journal of Geophysical Research*. v.65, p.3391-3413.
- 49 TUCCI, C. E. M. 1979. Análise de sensibilidade dos parâmetros do algoritmo de infiltração. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA, 3, 1979, Brasília. *Anais*. São Paulo: ABRH. 3v. v.2, p.553-570.
- 50 VON BERNUTH, R., GILLEY, J. R. 1984. Sprinkler droplet size distribution estimation from single leg test data. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.27, n.5, p.1435-1441.

- 51 VORIES, E. D., VON BERNUTH, R. D. 1986. Simulation of wind effects on sprinkler uniformity. *American Society of Agricultural Engineers Paper* 85-2063.
- 52 VORIES, E. D., VON BERNUTH, R. D., MICKELSON, R. H. 1987. Simulating sprinkler performance in wind. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, New York, v.113, n.1, p.119-130.
- 53 WILLIAMSON, R. E., THREADGILL, E. D. 1974. A simulation for the dynamics of evaporating spray droplets in agricultural spraying. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.17, n.1, p.254-261.

ANEXO 01

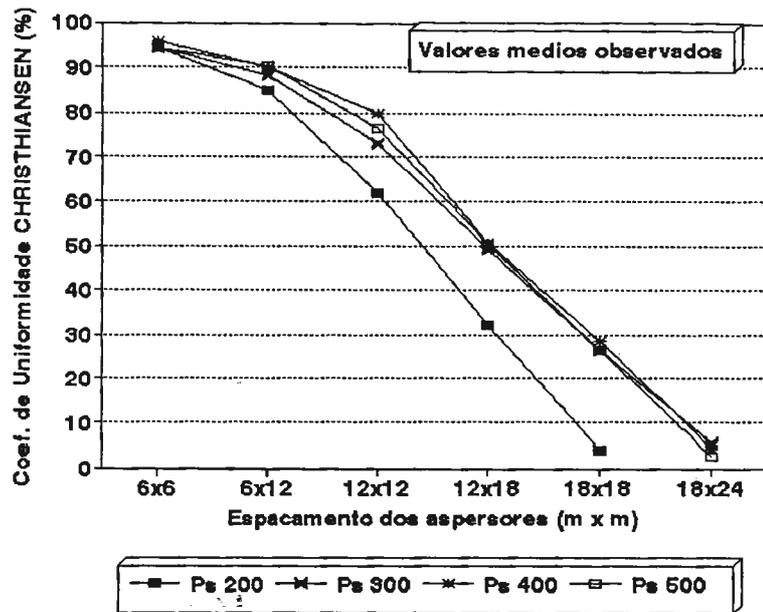


Figura 5.11-Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-100 - Bocal 7 x 3 mm.

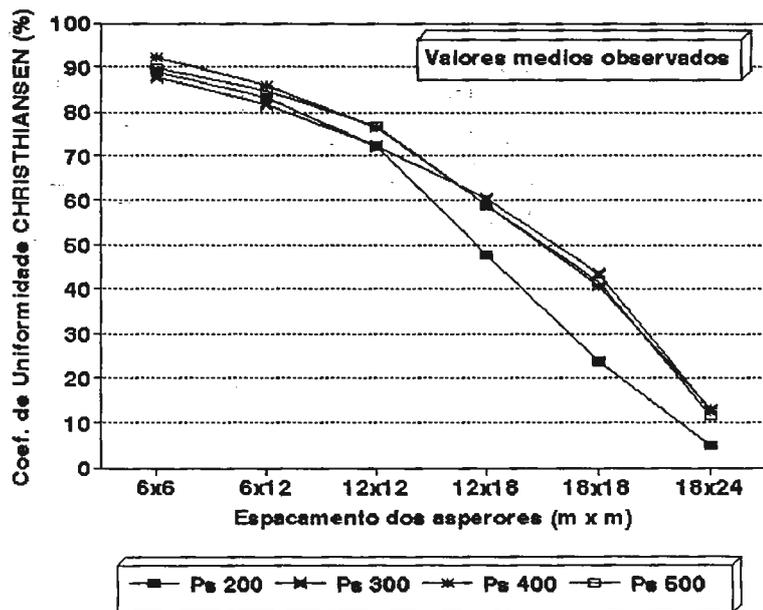


Figura 5.12-Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-100 - Bocal 8 x 3 mm.

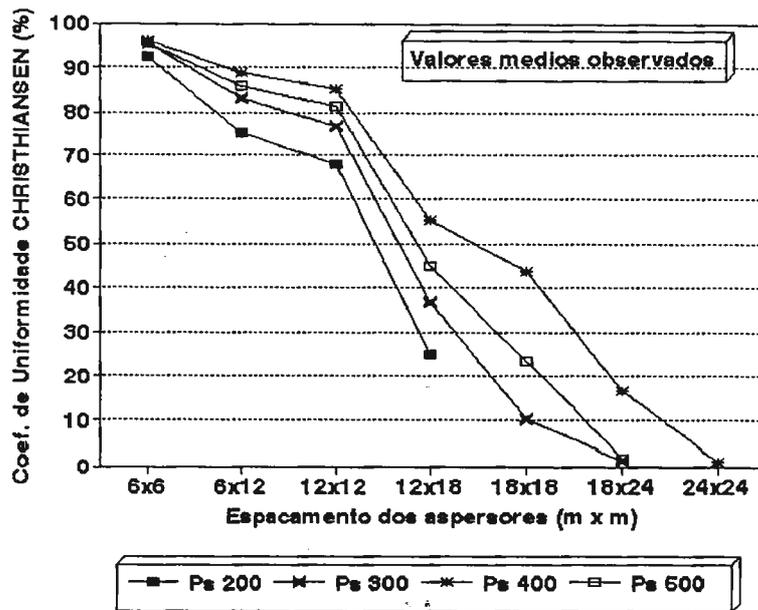


Figura 5.13-Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-150 - Bocal 8 x 5 mm.

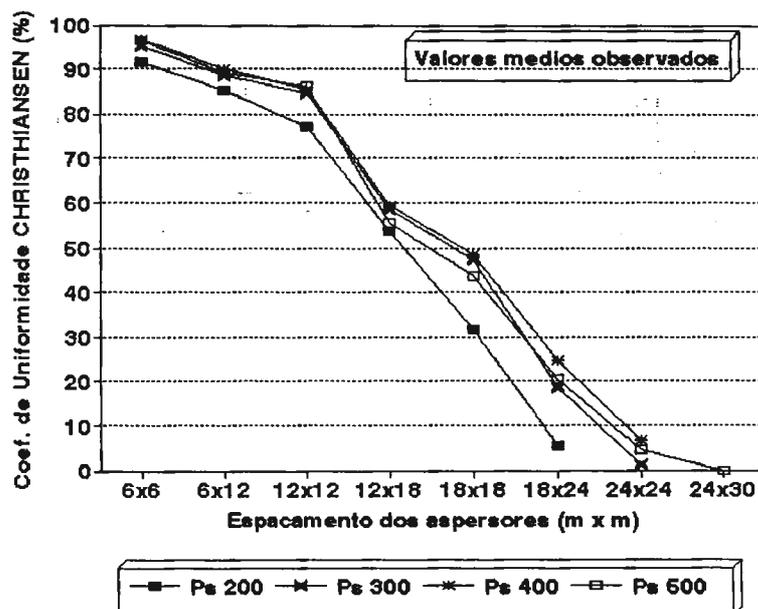


Figura 5.14-Valores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-150 - Bocal 10 x 5 mm.

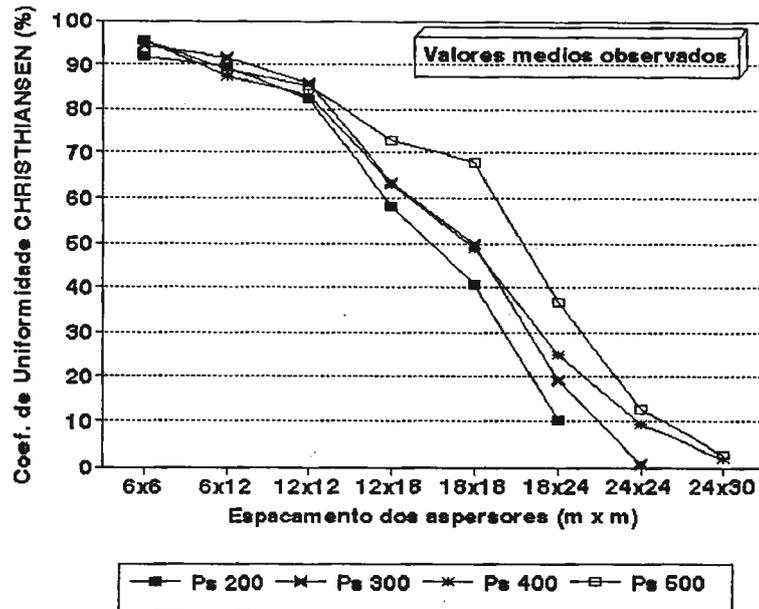


Figura 5.15-Vallores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-150 - Bocal 12 x 5 mm.

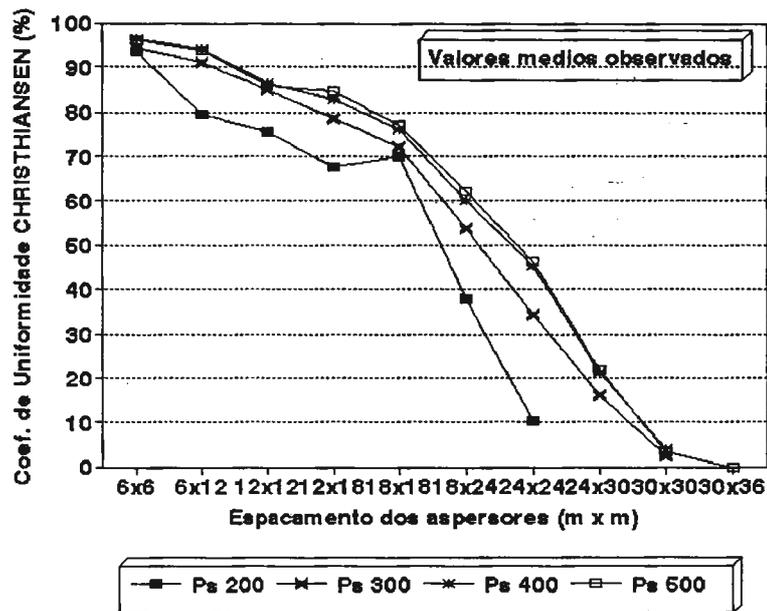


Figura 5.16-Vallores médios observados do coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) para os diferentes espaçamentos dos aspersores nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa do aspersor PA-150 - Bocal 14 x 5 mm.

ANEXO 02

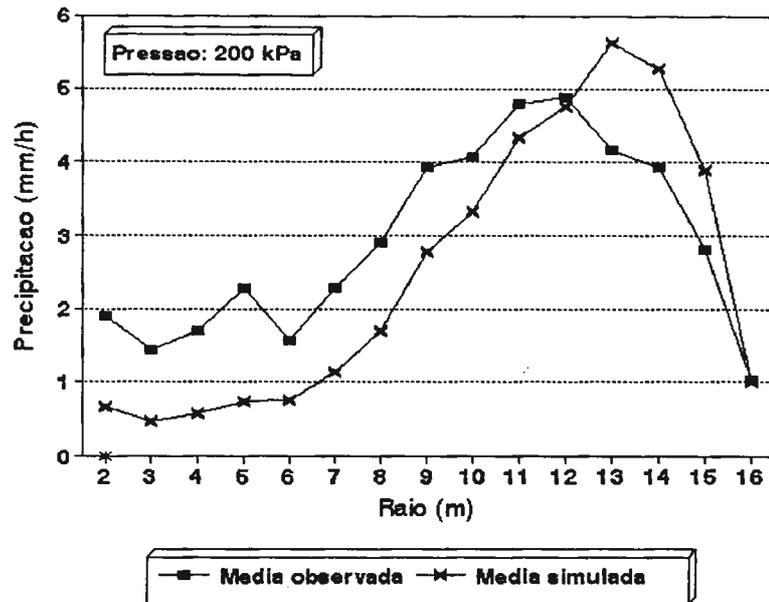


Figura 5.19-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm na pressão de 200 kPa.

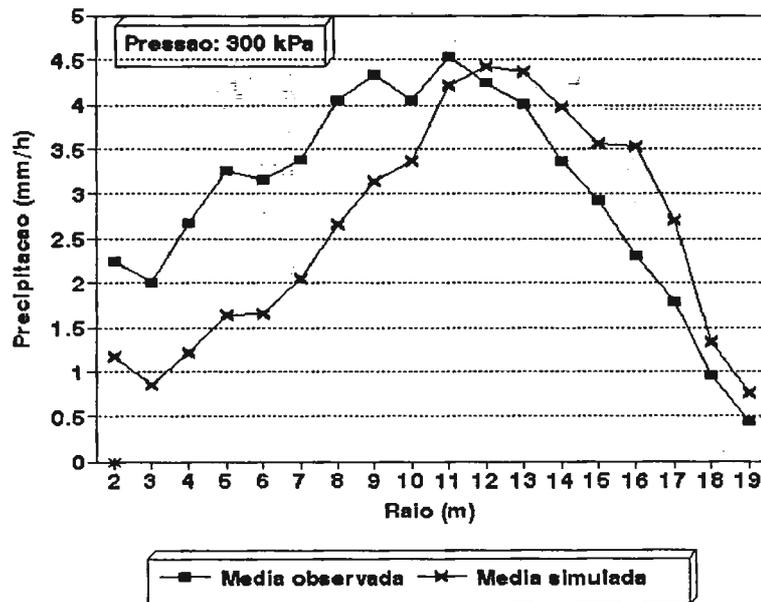


Figura 5.20-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm na pressão de 300 kPa.

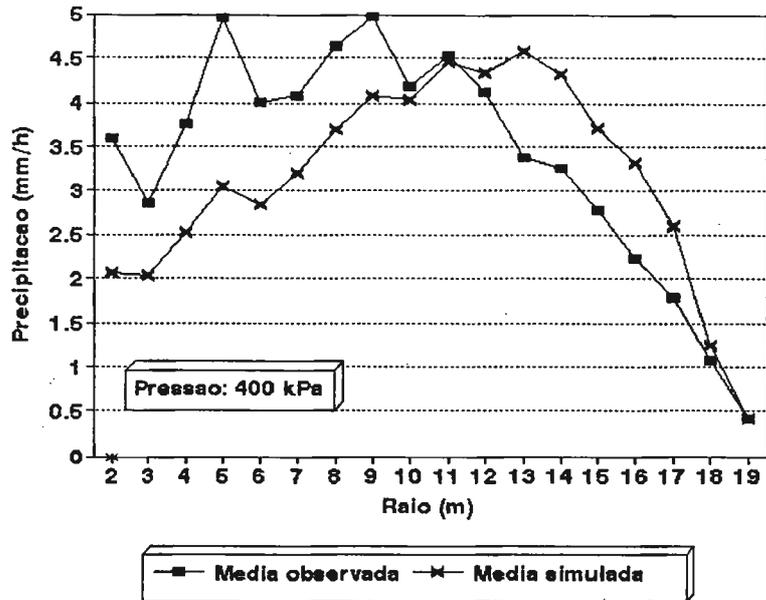


Figura 5.21-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm na pressão de 400 kPa.

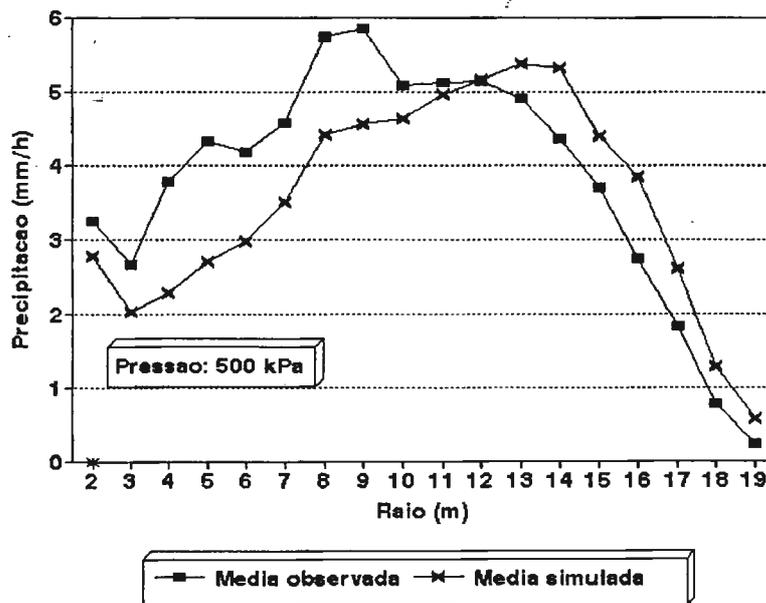


Figura 5.22-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm na pressão de 500 kPa.

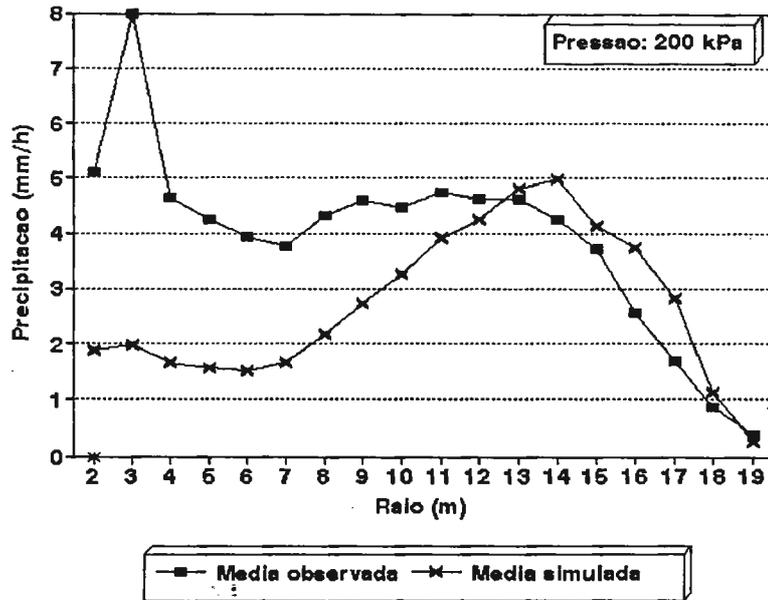


Figura 5.23-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm na pressão de 200 kPa.

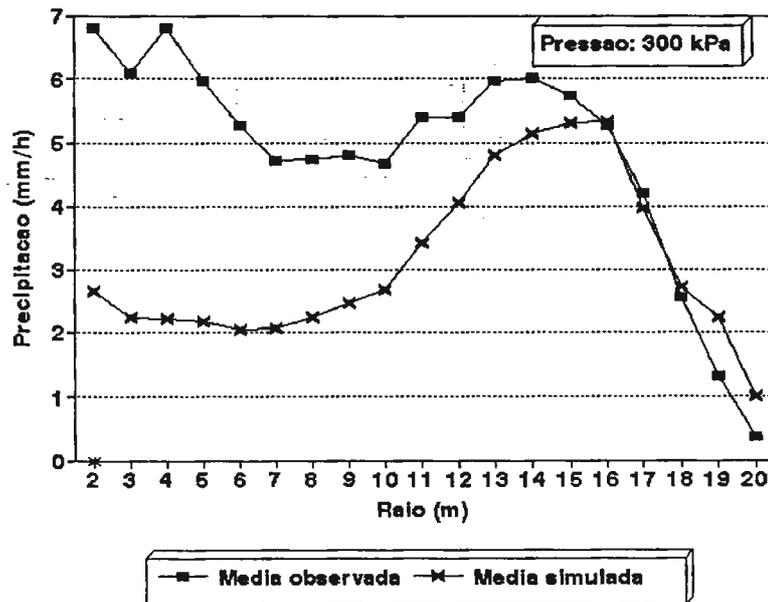


Figura 5.24-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm na pressão de 300 kPa.

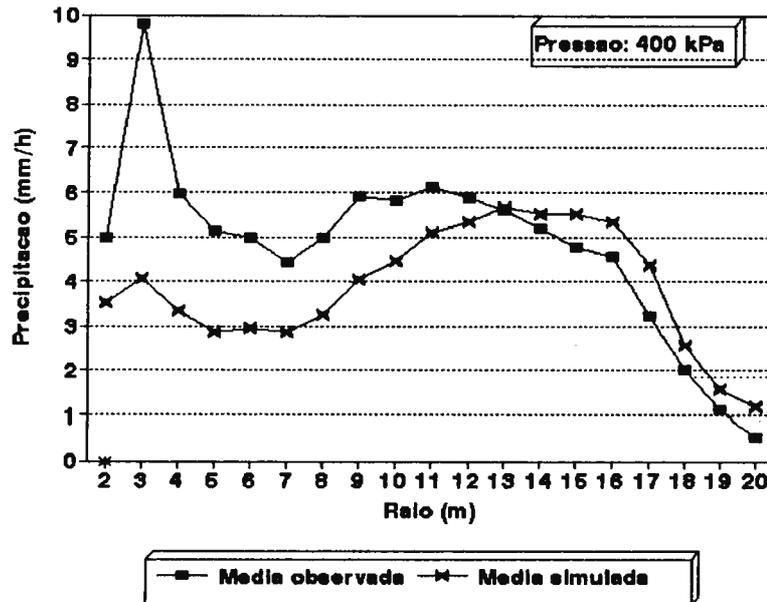


Figura 5.25-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm na pressão de 400 kPa.

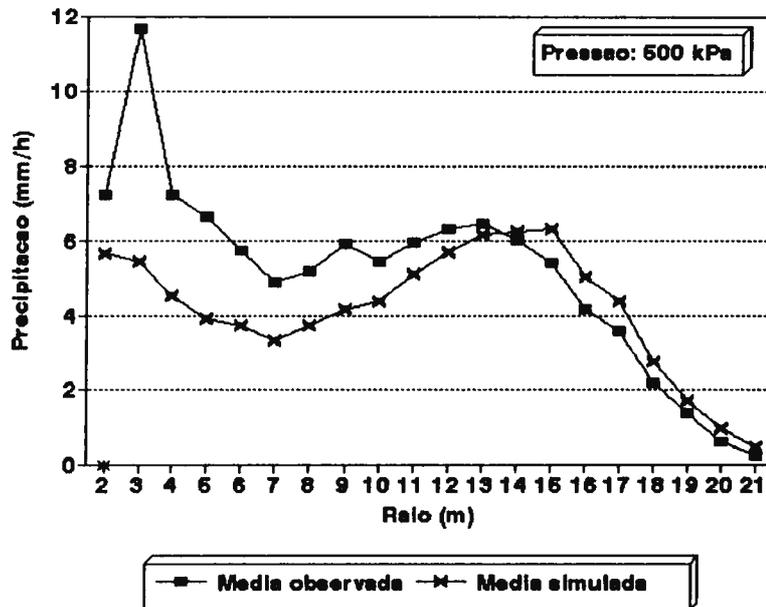


Figura 5.26-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm na pressão de 500 kPa.

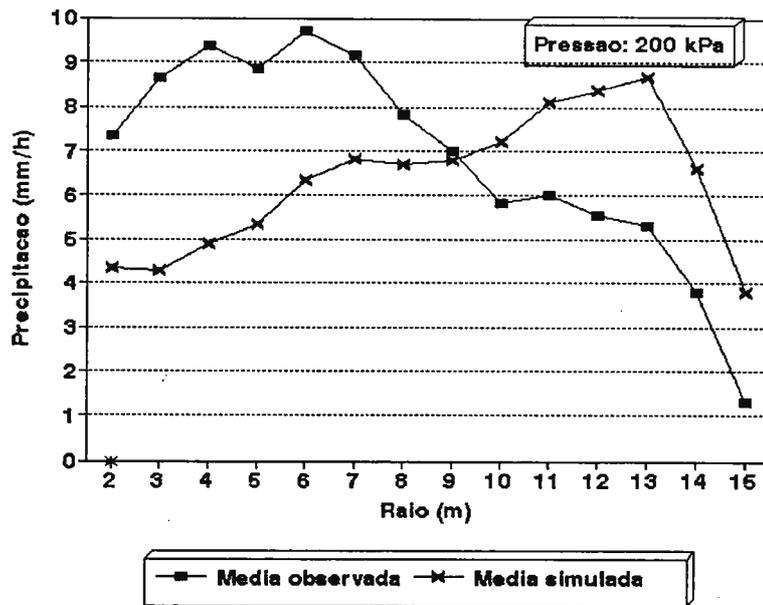


Figura 5.27-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm na pressão de 200 kPa.

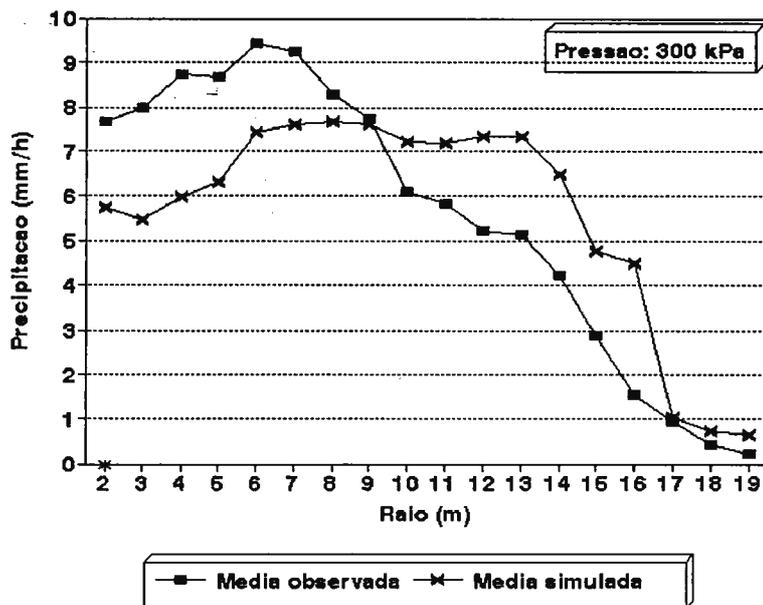


Figura 5.28-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm na pressão de 300 kPa.

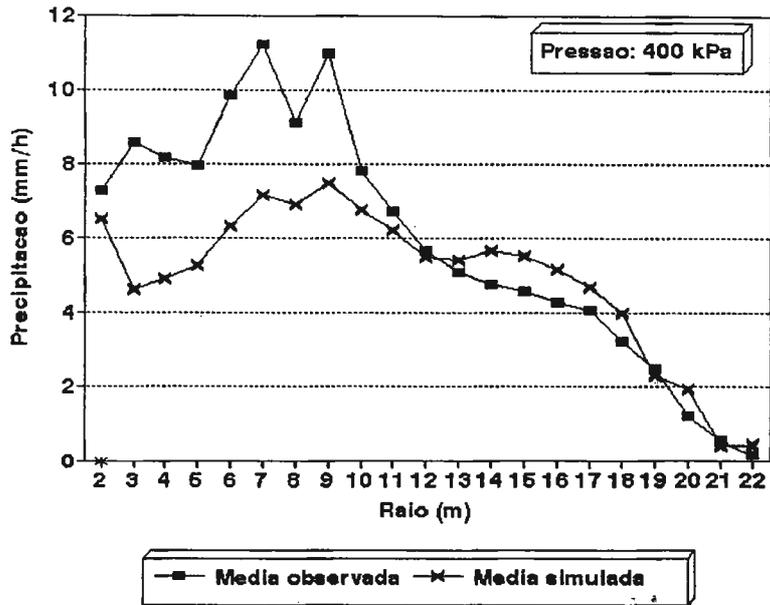


Figura 5.29-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm na pressão de 400 kPa.

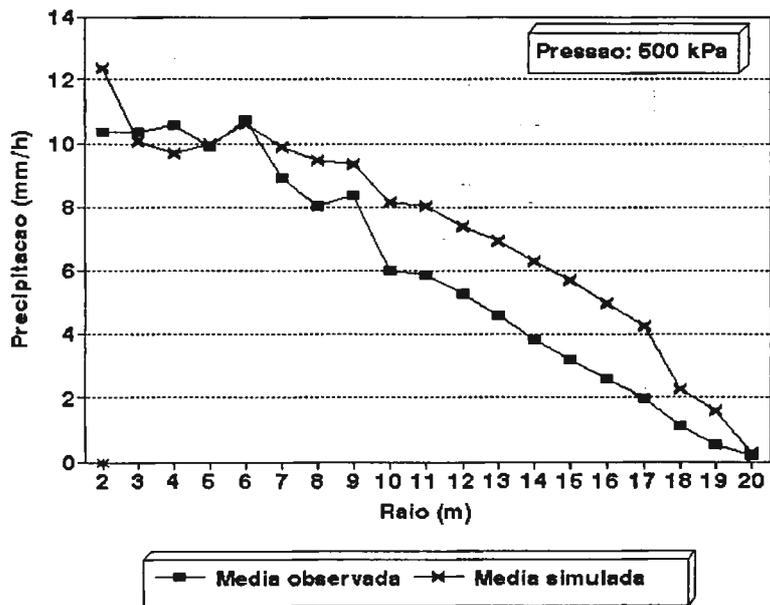


Figura 5.30-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm na pressão de 500 kPa.

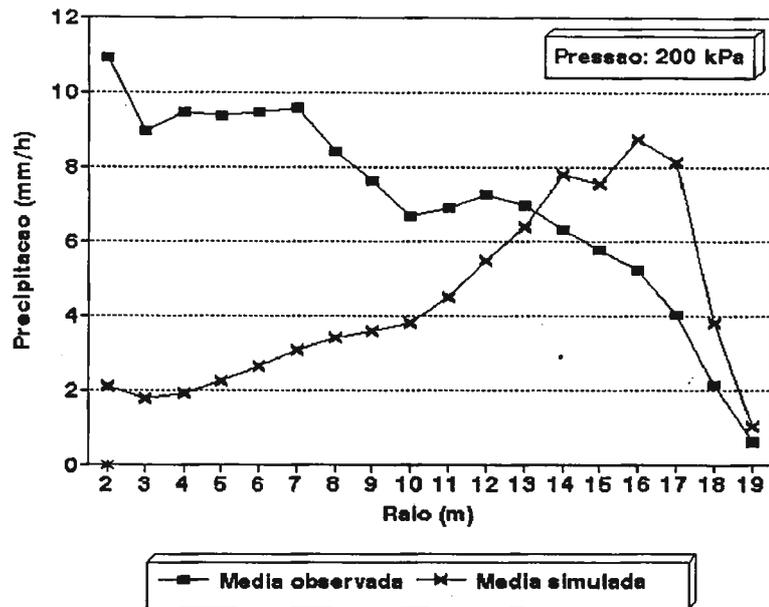


Figura 5.31-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm na pressão de 200 kPa.

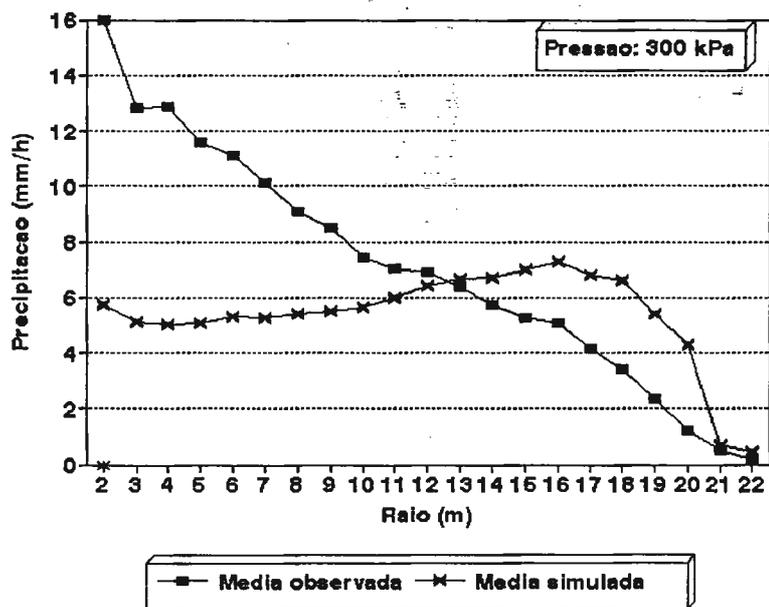


Figura 5.32-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm na pressão de 300 kPa.

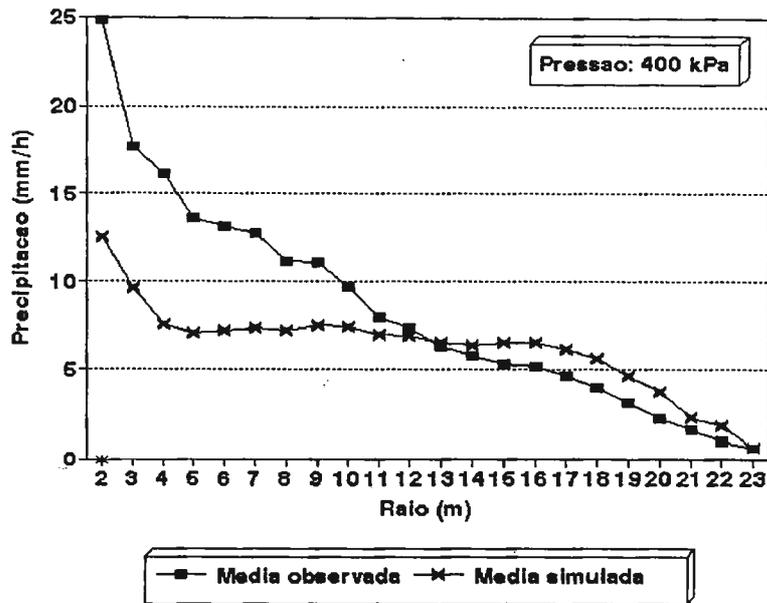


Figura 5.33-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm na pressão de 400 kPa.

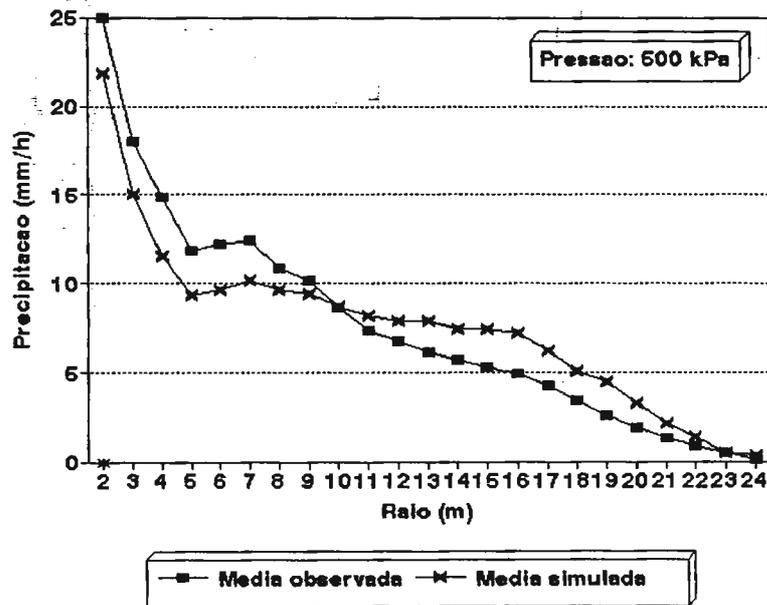


Figura 5.34-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm na pressão de 500 kPa.

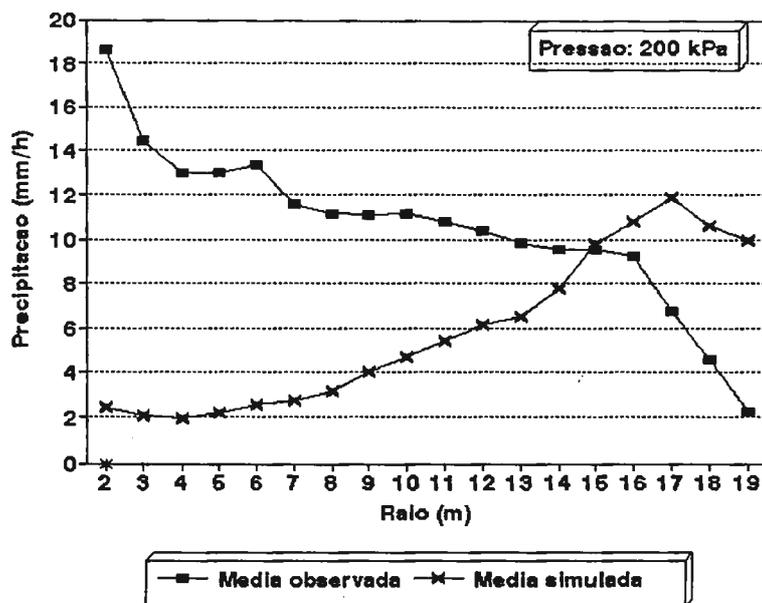


Figura 5.35-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm na pressão de 200 kPa.

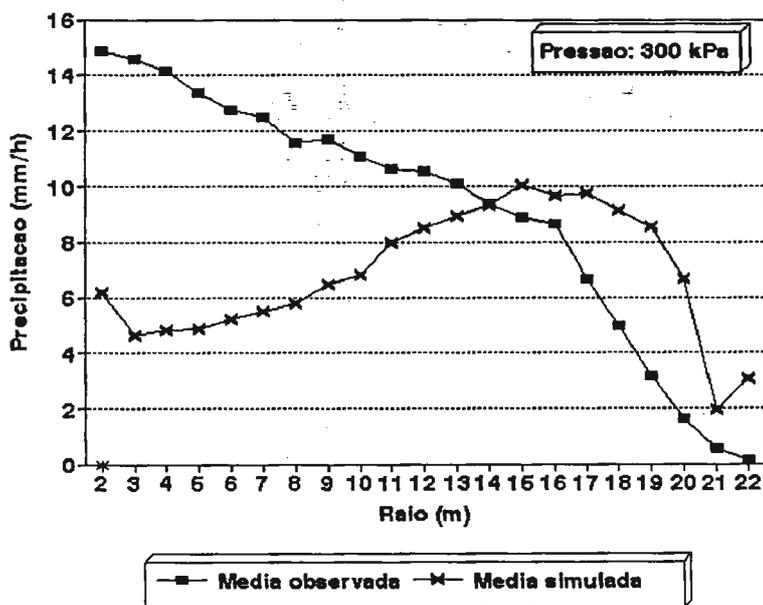


Figura 5.36-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm na pressão de 300 kPa.

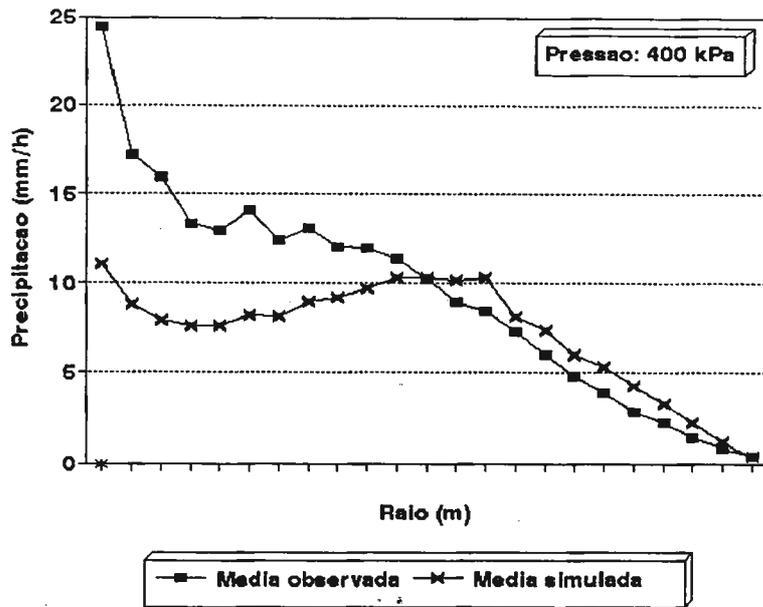


Figura 5.37-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm na pressão de 400 kPa.

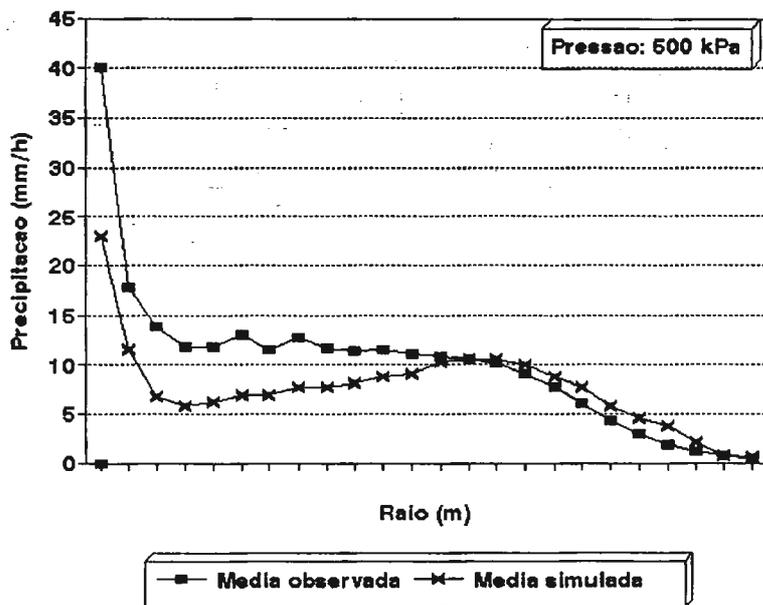


Figura 5.38-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm na pressão de 500 kPa.

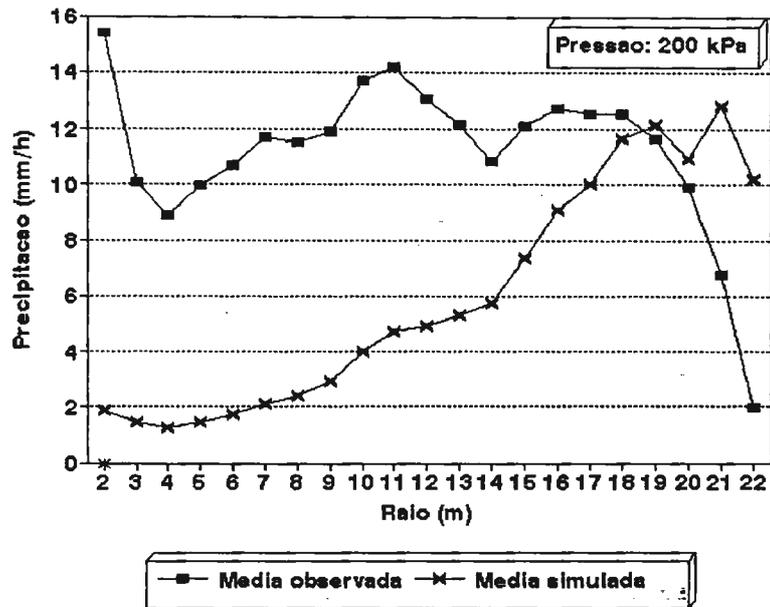


Figura 5.39-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm na pressão de 200 kPa.

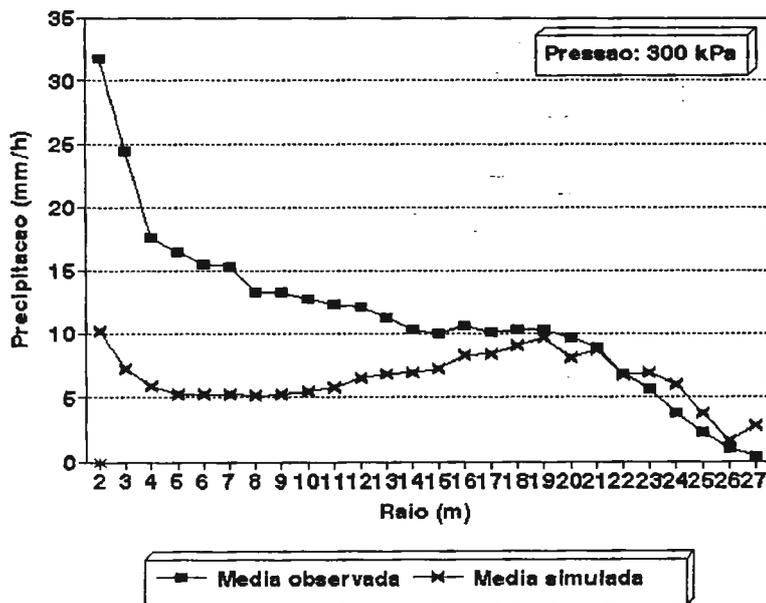


Figura 5.40-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm na pressão de 300 kPa.

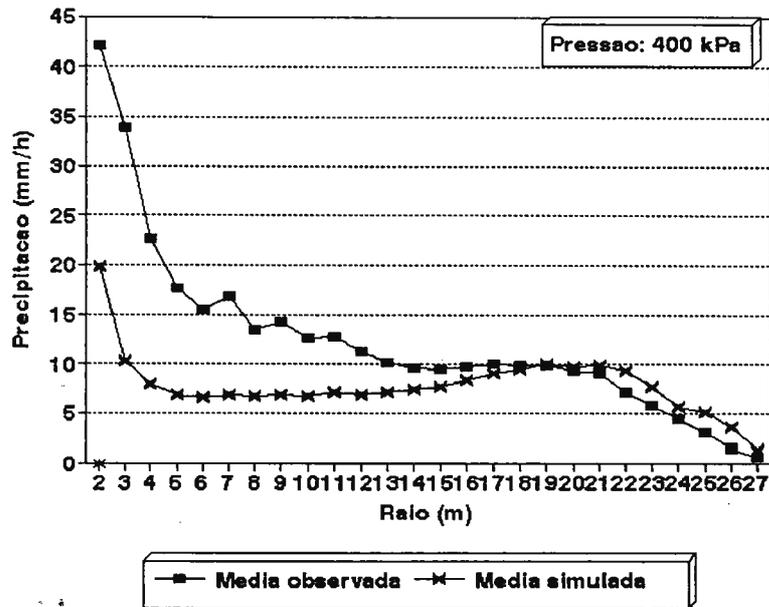


Figura 5.41-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm na pressão de 400 kPa.

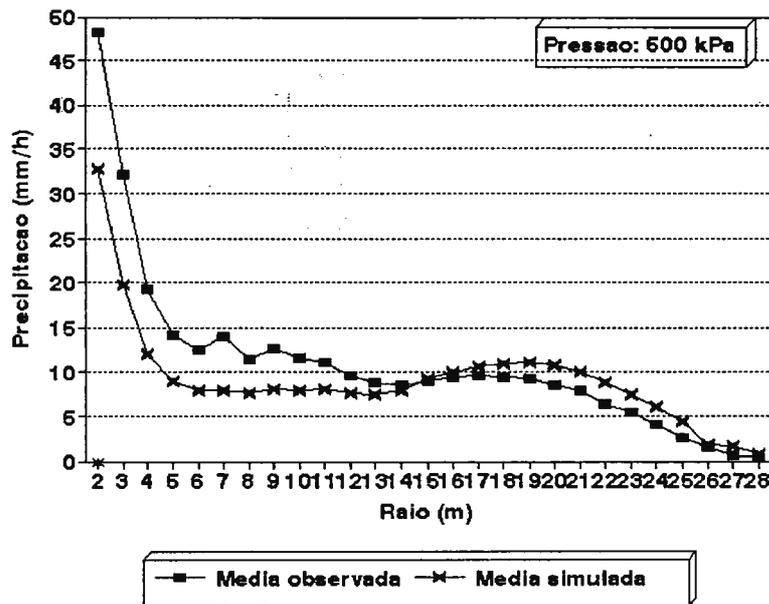


Figura 5.42-Distribuição da precipitação média observada e simulada pelo modelo ao longo do raio de alcance do aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm na pressão de 500 kPa.

ANEXO 03

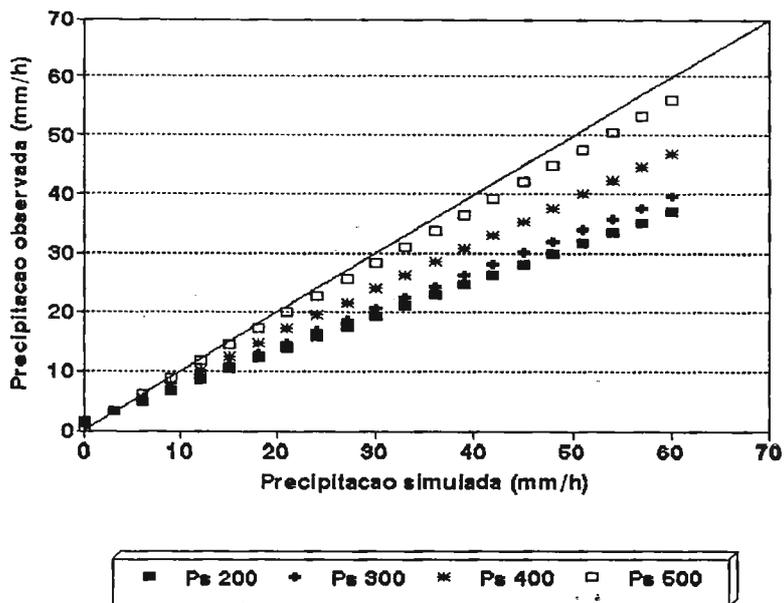


Figura 5.44-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

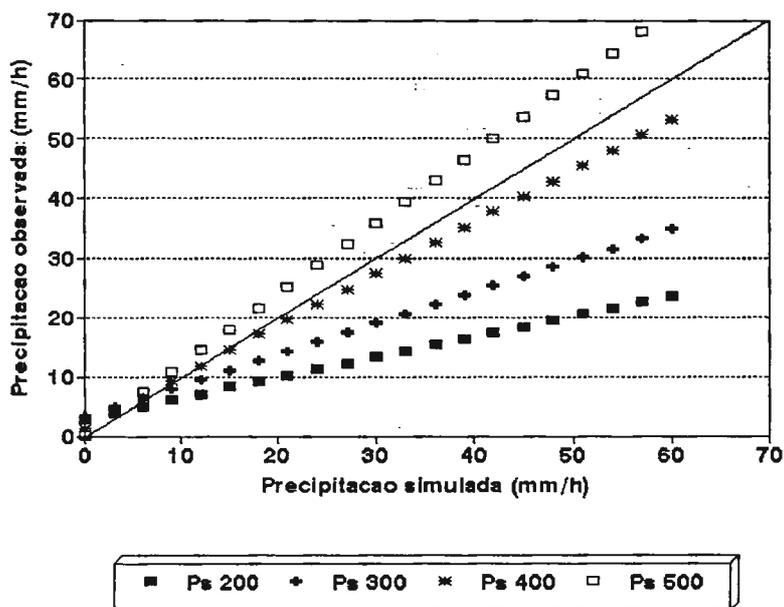


Figura 5.45-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

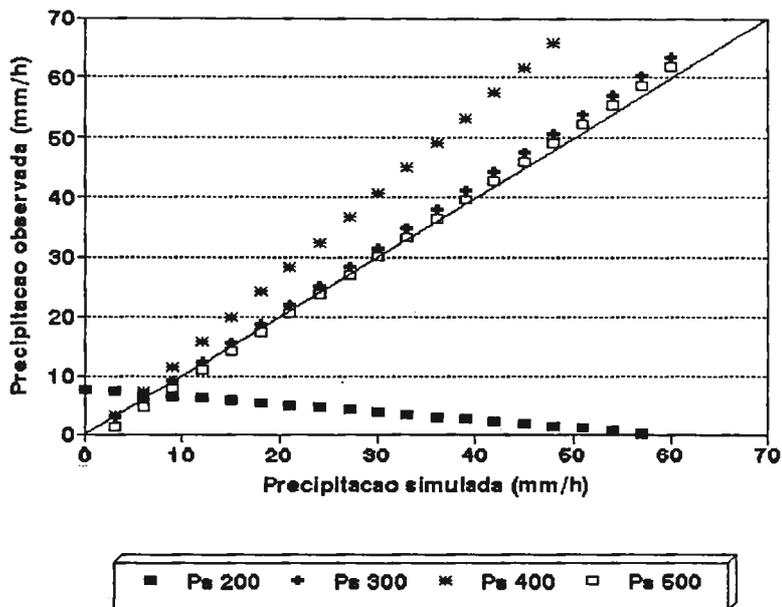


Figura 5.46-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

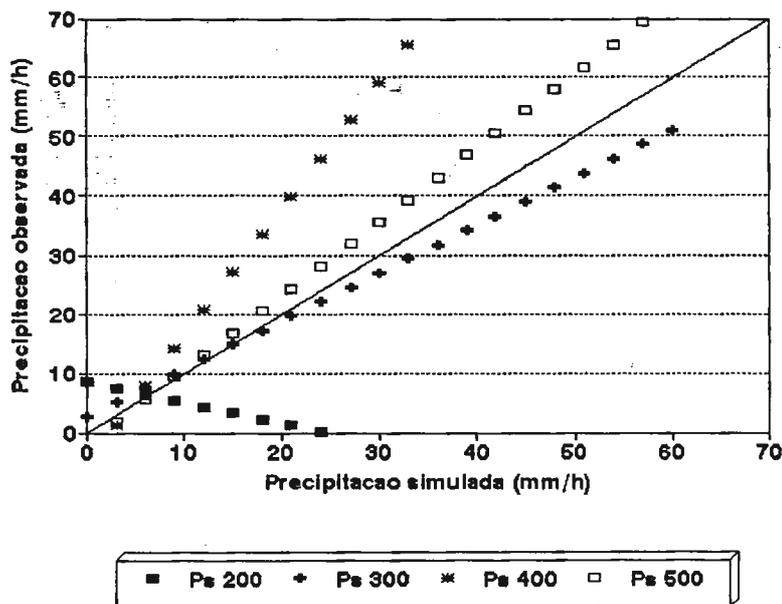


Figura 5.48-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

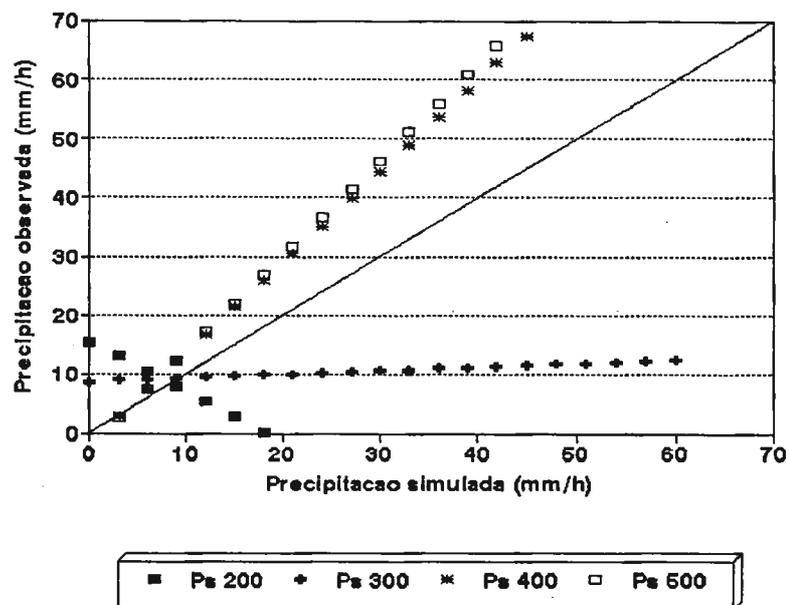


Figura 5.49-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

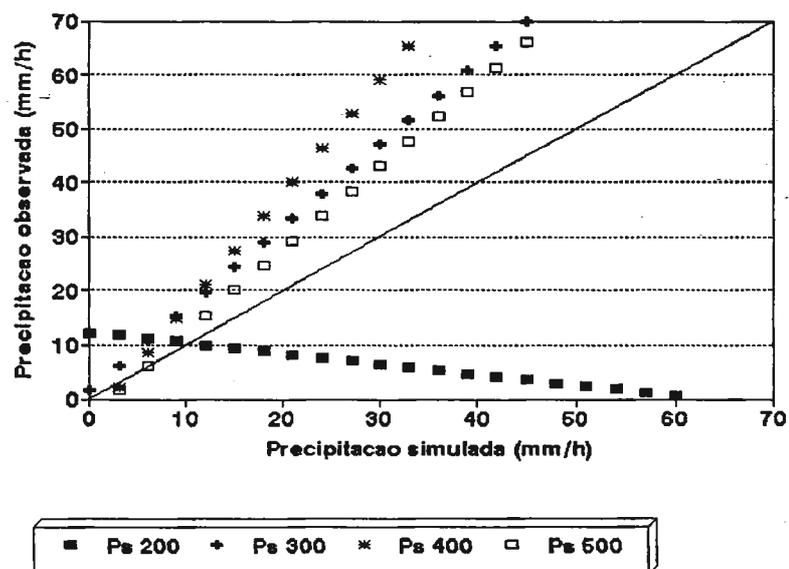


Figura 5.50-Comparação entre precipitação gerada pelo modelo (simulada) e a observada à campo para o aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

ANEXO 04

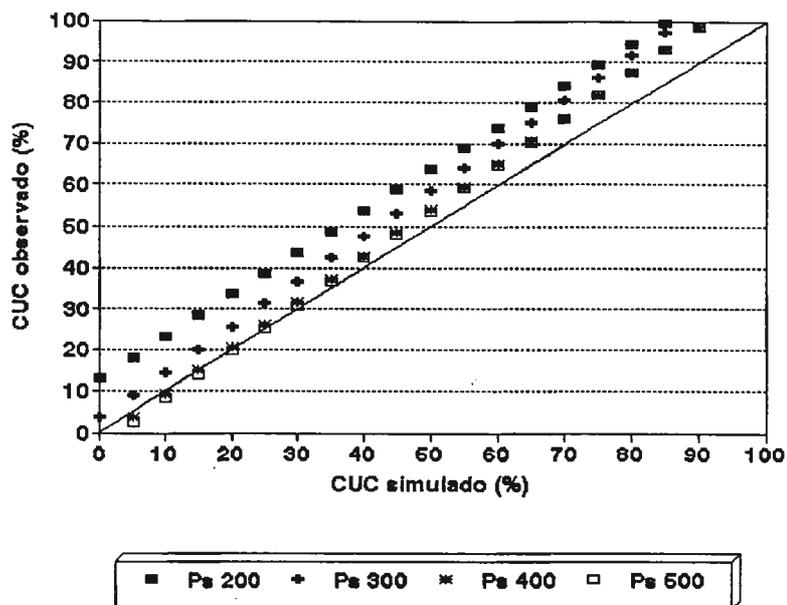


Figura 5.52-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-100 Bocal 7 x 3 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

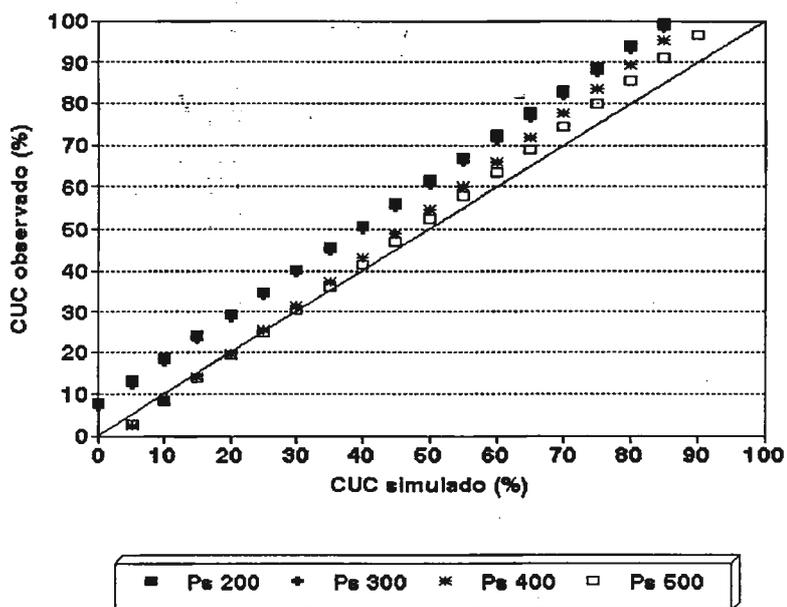


Figura 5.53-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 3 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

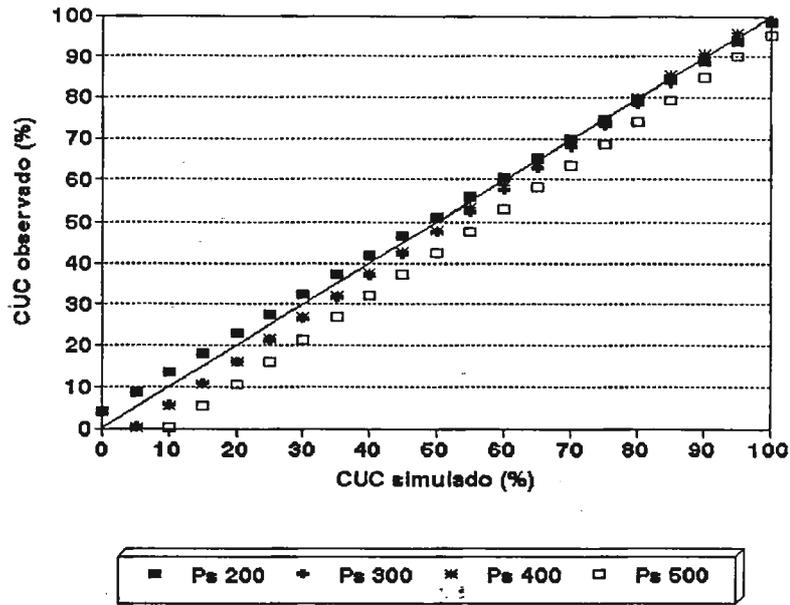


Figura 5.54-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-100 Bocal 8 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

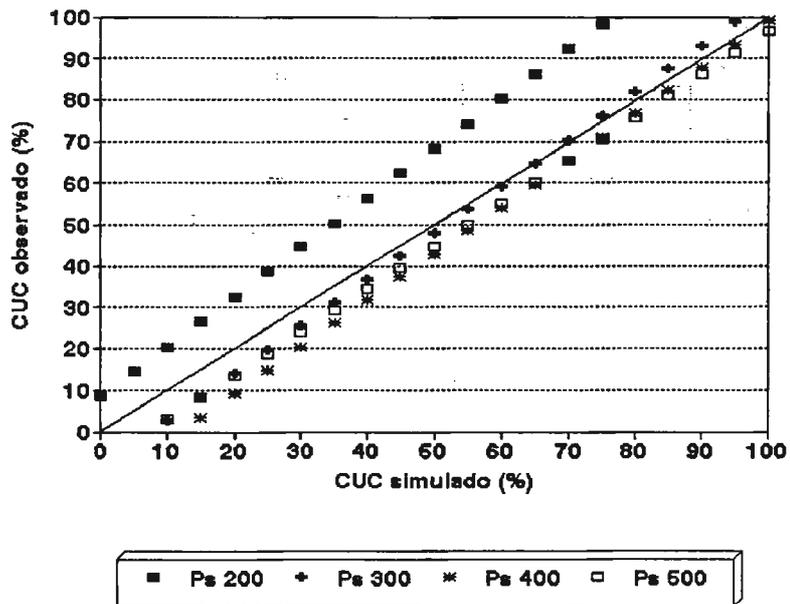


Figura 5.55-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-150 Bocal 10 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

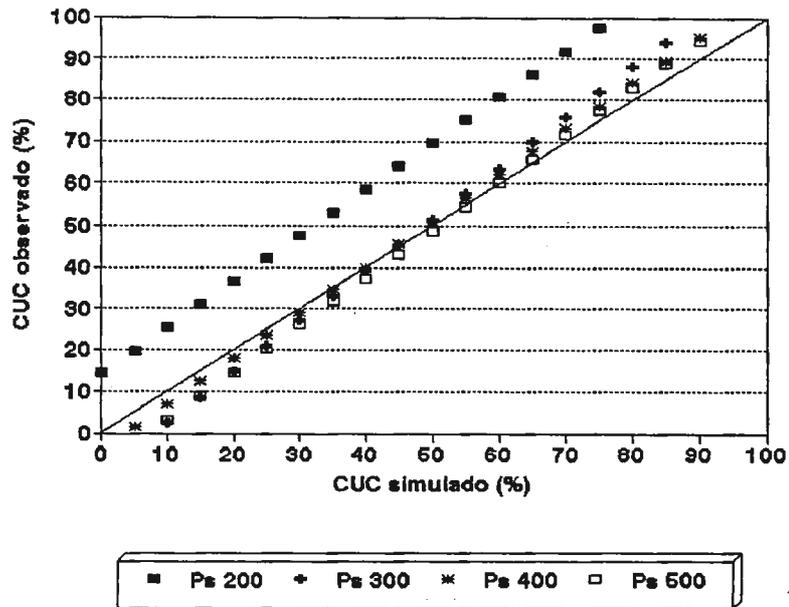


Figura 5.56-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-150 Bocal 12 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

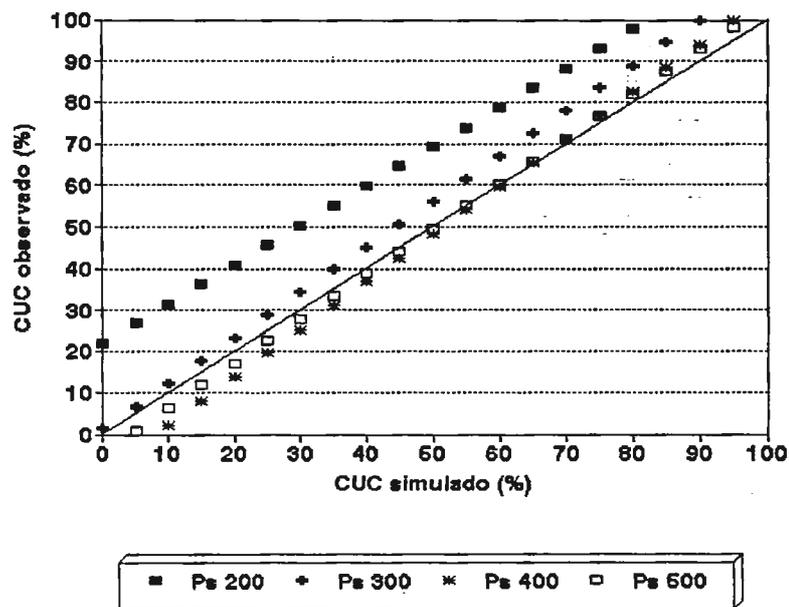


Figura 5.57-Comparação entre o CUC gerado pelo modelo e o observado à campo para o aspersor PA-150 Bocal 14 x 5 mm nas pressões de 200, 300, 400 e 500 kPa.

ANEXO 05

DECLARE SUB TELAPRES ()
DECLARE SUB TELAFINAL ()

```

*****
***
***
***          PROGRAMA DE SIMULACAO DE DISTRIBUICAO DE AGUA          ***
***
***          DE ASPERSORES DE IRRIGACAO                             ***
***
***          INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS - IPH / UFRGS       ***
***
***          ENTRASI.BAS                                           ***
*** Desenvolvido por:                                           ***
***
***          GUILHERME XAVIER DE MIRANDA JUNIOR                   ***
***          Eng. Agronomo                                         ***
***          CREA - S1 - 30805 - 9                                 ***
***
*****

```

DIM RAI!(50), VOL!(50), ARE!(50), AUNF!(50)

```

REM *** TELA DE APRESENTACAO ***
CALL TELAPRES

```

```

100 REM *** MENU PRINCIPAL ***
CLS

```

```

LOCATE 1, 18: PRINT "
LOCATE 2, 18: PRINT "
LOCATE 3, 18: PRINT "
LOCATE 2, 35: PRINT " MENU PRINCIPAL "
LOCATE 6, 18: PRINT "
FOR I = 1 TO 10
  LOCATE I + 6, 18: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 16, 18: PRINT "

```

```

COLOR 0, 7: LOCATE 8, 27: PRINT " 1 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Entrada
COLOR 0, 7: LOCATE 11, 27: PRINT " 2 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Leitur
COLOR 0, 7: LOCATE 14, 27: PRINT " 3 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Return

```

```

LOCATE 21, 20: PRINT "
LOCATE 22, 20: PRINT "
LOCATE 23, 20: PRINT "
LOCATE 22, 30: PRINT "  FACA SUA ESCOLHA = ____ "
LOCATE 22, 52: INPUT "", OPW$

```

```

IF OPW$ = "1" THEN GOTO 1000
IF OPW$ = "2" THEN GOTO 2000
IF OPW$ = "3" THEN GOTO 4000

```

IF OPW\$ <> "1" OR OPW\$ <> "2" OR OPW\$ <> "3" OR OPW\$ <> "4" THEN GOTO 100

```

1000 REM *** ENTRADA DE DADOS VIA TECLADO ***
1110 REM *** NUMERO DE BOCAIS DO ASPERSOR ***
CLS

```

```

LOCATE 1, 14: PRINT "
LOCATE 2, 14: PRINT "
LOCATE 3, 14: PRINT "
LOCATE 2, 20: PRINT " CARACTERISTICA CONSTRUTIVA DO ASPERSOR "

LOCATE 7, 14: PRINT "
FOR I = 1 TO 8
  LOCATE I + 7, 14: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 16, 14: PRINT "
LOCATE 13, 20: PRINT " Entre com o numero de bocais do aspersor "
LOCATE 10, 22: INPUT " Numero de bocais (1 OU 2).... => ", NUMBO$

IF NUMBO$ = "1" THEN GOTO 1300
IF NUMBO$ = "2" THEN GOTO 1600
IF NUMBO$ <> "1" OR NUMBO$ <> "2" THEN GOTO 1110

```

```

1300 REM *** ENTRADA DE DADOS DE UM ASPERSOR COM UM BOCAL ***
CLS

```

```

LOCATE 1, 18: PRINT "
LOCATE 2, 18: PRINT "
LOCATE 3, 18: PRINT "
LOCATE 2, 24: PRINT " CARACTERISTICA OPERACIONAL DO ASPERSOR "

LOCATE 5, 11: PRINT "
FOR I = 1 TO 15
  LOCATE I + 5, 11: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 20, 11: PRINT "
LOCATE 21, 11: PRINT "
LOCATE 22, 11: PRINT "
LOCATE 23, 11: PRINT "

LOCATE 22, 13: PRINT " Valor da pressao expresso em metro de coluna de agu
LOCATE 7, 15: INPUT "*" - PRESSAO DE SERVICIO DO ASPERSOR .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metros cubicos por hora (m3/h)
LOCATE 9, 15: INPUT "*" - VAZAO DO ASPERSOR .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em milimetros (mm)
LOCATE 11, 15: INPUT "*" - DIAMETRO DO BOCAL PRINCIPAL DO ASPERSOR .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor admensional (-)
LOCATE 13, 15: INPUT "*" - COEFICIENTE DE VAZAO DO BOCAL DO ASPERSOR .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em graus (°)
LOCATE 15, 15: INPUT "*" - ANGULO DE INCLINACAO DO BOCAL DO ASPERSOR .....

```

```

LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metro (m)
LOCATE 17, 15: INPUT "* - ALTURA DA HASTE DO ASPERSOR .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em minutos (min.)
LOCATE 19, 15: INPUT "* - TEMPO DE DURACAO DO ENSAIO .....
LOCATE 22, 13: INPUT " ***** DESEJA IMPRIMIR O QUADRO (S/N) **
IF E$ = "N" OR E$ = "n" THEN GOTO 1300
IF NUMBO$ = "1" THEN GOTO 1350

```

1350 CLS

```

LOCATE 1, 18: PRINT "
LOCATE 2, 18: PRINT "
LOCATE 3, 18: PRINT "
LOCATE 2, 26: PRINT " CONDICoes CLIMATOLOGICAS DO ENSAIO "

```

```

LOCATE 5, 11: PRINT "
FOR I = 1 TO 15
  LOCATE I + 5, 11: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 20, 11: PRINT "
LOCATE 21, 11: PRINT "
LOCATE 22, 11: PRINT "
LOCATE 23, 11: PRINT "

```

```

LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metro por segundo (m/s)
LOCATE 6, 15: INPUT "* - VELOCIDADE DO VENTO .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metro (m)
LOCATE 8, 15: INPUT "* - ALTURA DO ANEMOMETRO .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em graus (°)
LOCATE 10, 15: INPUT "* - ANGULO DE INCIDENCIA DO VENTO AO EIXO X .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em graus centigrados (°C)
LOCATE 12, 15: INPUT "* - TEMPERATURA DO BULBO SECO .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em graus centigrados (°C)
LOCATE 14, 15: INPUT "* - TEMPERATURA DO BULBO UMIDO .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em milímetros (mm)
LOCATE 16, 15: INPUT "* - EVAPORACAO OCORRIDA DURANTE O ENSAIO .....
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metro (m)
LOCATE 18, 15: INPUT "* - ALTURA DO PLUVIOMETRO .....
LOCATE 22, 13: INPUT " ***** OS DADOS ESTAO CORRETOS (S/N)*****
IF E$ = "N" OR E$ = "n" THEN GOTO 1350
GOTO 1800

```

600 REM *** ENTRADA DE DADOS DE UM ASPERSOR COM DOIS BOCAIS ***

```

CLS
LOCATE 1, 18: PRINT "
LOCATE 2, 18: PRINT "
LOCATE 3, 18: PRINT "
LOCATE 2, 24: PRINT " CARACTERISTICA OPERACIONAL DO ASPERSOR "

```

```

LOCATE 3, 11: PRINT "
FOR I = 1 TO 17
  LOCATE I + 3, 11: PRINT " ||
NEXT I

```

LOCATE 21, 11: PRINT "
LOCATE 22, 11: PRINT "
LOCATE 23, 11: PRINT "



LOCATE 22, 13: PRINT " Valor da pressao expresso em metro de coluna de agu
LOCATE 4, 15: INPUT "*" - PRESSAO DE SERVICIO DO ASPERSOR
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metros cubicos por hora (m3/h)
LOCATE 6, 15: INPUT "*" - VAZAO DO ASPERSOR
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em milimetros (mm)
LOCATE 8, 15: INPUT "*" - DIAMETRO DO BOCAL PRINCIPAL DO ASPERSOR
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em milimetros (mm)
LOCATE 10, 15: INPUT "*" - DIAMETRO DO BOCAL SECUNDARIO DO ASPERSOR
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor admensional (-)
LOCATE 12, 15: INPUT "*" - COEFICIENTE DE VAZAO DO BOCAL PRINCIPAL
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor admensional (-)
LOCATE 14, 15: INPUT "*" - COEFICIENTE DE VAZAO DO BOCAL SECUNDARIO
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em graus (°)
LOCATE 16, 15: INPUT "*" - ANGULO DO BOCAL DO ASPERSOR
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metro (m)
LOCATE 18, 15: INPUT "*" - ALTURA DA HASTE DO ASPERSOR
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em minutos (min.)
LOCATE 20, 15: INPUT "*" - TEMPO DE DURACAO DO ENSAIO
LOCATE 22, 13: INPUT " ***** OS DADOS ESTAO CORRETOS (S/N)*****
IF E\$ = "N" OR E\$ = "n" THEN GOTO 1600
IF NUMBO\$ = "2" THEN GOTO 1650

1650 CLS

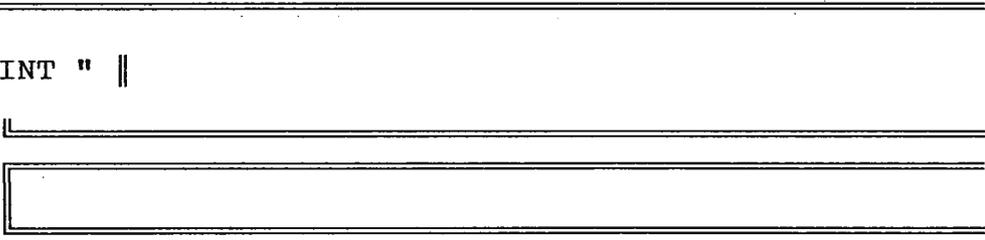
LOCATE 1, 18: PRINT "
LOCATE 2, 18: PRINT "
LOCATE 3, 18: PRINT "
LOCATE 2, 26: PRINT "



CONDICOES CLIMATOLOGICAS DO ENSAIO "

LOCATE 5, 11: PRINT "
FOR I = 1 TO 15
LOCATE I + 5, 11: PRINT " ||
NEXT I

LOCATE 20, 11: PRINT "
LOCATE 21, 11: PRINT "
LOCATE 22, 11: PRINT "
LOCATE 23, 11: PRINT "



LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metro por segundo (m/s)
LOCATE 6, 15: INPUT "*" - VELOCIDADE DO VENTO
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metro (m)
LOCATE 8, 15: INPUT "*" - ALTURA DO ANEMOMETRO
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em graus
LOCATE 10, 15: INPUT "*" - ANGULO DE INCIDENCIA DO VENTO AO EIXO X
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em graus centigrados (°C)
LOCATE 12, 15: INPUT "*" - TEMPERATURA DO BULBO SECO
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em graus centigrados (°C)
LOCATE 14, 15: INPUT "*" - TEMPERATURA DO BULBO UMIDO
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em milimetros (mm)
LOCATE 16, 15: INPUT "*" - EVAPORACAO OCORRIDA DURANTE O ENSAIO
LOCATE 22, 13: PRINT " Valor expresso em metro (m)
LOCATE 18, 15: INPUT "*" - ALTURA DO PLUVIOMETRO
LOCATE 22, 13: INPUT " ***** OS DADOS ESTAO CORRETOS (S/N)*****

```
IF E$ = "N" OR E$ = "n" THEN GOTO 1650
GOTO 1800
```

```
1800 REM *** ENTRADA DE DADOS DAS PRECIPITACOES ***
```

```
CLS
LOCATE 1, 14: PRINT "
LOCATE 2, 14: PRINT "
LOCATE 3, 14: PRINT "
LOCATE 2, 25: PRINT " CARACTERISTICA DOS COLETORES "
LOCATE 7, 14: PRINT "
FOR I = 1 TO 8
  LOCATE I + 7, 14: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 16, 14: PRINT "
COLOR 0, 7: LOCATE 10, 17: PRINT " 1 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .. Coletor
COLOR 0, 7: LOCATE 13, 17: PRINT " 2 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .. Coletor
LOCATE 21, 18: PRINT "
LOCATE 22, 18: PRINT "
LOCATE 23, 18: PRINT "
LOCATE 22, 28: PRINT " FACA SUA ESCOLHA = _ "
LOCATE 22, 50: INPUT "", OTW$
IF OTW$ = "1" THEN GOTO 1810
IF OTW$ = "2" THEN GOTO 1850
IF OTW$ <> "1" OR OTW$ <> "2" THEN GOTO 1800
```

```
1810 REM *** ENTRADA DO DIAMETRO PARA COLETORES DE SUPERFICIE UNIFORME ***
```

```
CLS
LOCATE 1, 14: PRINT "
LOCATE 2, 14: PRINT "
LOCATE 3, 14: PRINT "
LOCATE 2, 28: PRINT " CARACTERISTICA DOS COLETORES "

LOCATE 7, 14: PRINT "
FOR I = 1 TO 8
  LOCATE I + 7, 14: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 16, 14: PRINT "
LOCATE 13, 16: PRINT " Diametro do coletor de superficie uniforme (cm). "
LOCATE 10, 22: INPUT " Diametro do coletor ..... => ", DICOL
LOCATE 21, 11: PRINT "
LOCATE 22, 11: PRINT "
LOCATE 23, 11: PRINT "

LOCATE 22, 13: INPUT " ***** OS DADOS ESTAO CORRETOS (S/N)***

IF E$ = "N" OR E$ = "n" THEN GOTO 1810
```

```
1850 CLS
```

```
LOCATE 1, 14: PRINT "
LOCATE 2, 14: PRINT "
LOCATE 3, 14: PRINT "
LOCATE 2, 28: PRINT " DADOS OBSERVADOS "
```

```

FOR I = 1 TO 8
  LOCATE I + 7, 14: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 16, 14: PRINT " |
LOCATE 13, 20: PRINT " Entre o numero de coletores observados "

LOCATE 10, 22: INPUT " Numero de coletors ..... => ", NUMCOL
LOCATE 21, 11: PRINT " |
LOCATE 22, 11: PRINT " |
LOCATE 23, 11: PRINT " |

LOCATE 22, 13: INPUT " ***** OS DADOS ESTAO CORRETOS (S/N)***

IF E$ = "N" OR E$ = "n" THEN GOTO 1850
IF E$ = "S" OR E$ = "s" THEN GOTO 1860

```

```

1860 DIM X$(NUMCOL), Y$(NUMCOL)
CLS : M = 1: MR = 1: MC = 1

```

IPH-UNI v 1.0 - ENTRASI			IPH / 1993		MIRANDA,G.
:ENTRADA DE DADOS DOS RAIOS (m) E VOLUME COLETADO (cm [teclle <ESC> para terminar a entrada de dados]					
RAIO	VOLUME	RAIO	VOLUME	RAIO	VOLUM
ENTRADA DE DADOS		PT	RAIO	VOLUME	

```

FOR I = 1 TO 13: PRINT " ||
NEXT I
PRINT "
PRINT "
PRINT "
PRINT "
PRINT "
PRINT "
FOR I = 1 TO 13: PRINT " ||
NEXT I
PRINT "
PRINT "
PRINT "
FOR J = 1 TO NUMCOL
LOCATE 7 + MR, MC + 1: PRINT LEFT$(PR$, 7); : LOCATE 7 + MR, MC + 9: PRINT
LOCATE 23, 34: PRINT " "; : LOCATE 23, 34: PRINT USING "###"; M;
LOCATE 23, 47: PRINT " "; : LOCATE 23, 48, 1, 0, 7: GOSUB 1901: IF ip
LOCATE 23, 64: PRINT " "; : LOCATE 23, 64, 1, 0, 7: GOSUB 1901: IF i
1041 IF X$(J) = "" THEN X$(J) = "DEL"
IF Y$(J) = "" THEN Y$(J) = "DEL"
LOCATE 8 + MR, MC + 11: XX1 = VAL(X$(J)): IF X$(J) = "DEL" THEN PRINT " D
LOCATE 8 + MR, MC + 22: YY1 = VAL(Y$(J)): IF Y$(J) = "DEL" THEN PRINT " D
MR = MR + 1
IF M MOD 13 = 0 THEN MR = 1: MC = MC + 20
IF M MOD 39 = 0 THEN MR = 1: MC = 1
IF LEFT$(X$(J), 1) = "S" OR LEFT$(X$(J), 1) = "s" OR LEFT$(Y$(J), 1) = "S"
IF LP = 1 THEN LPRINT "RAIO (m) ( "; J; " )= "; X$(J); TAB(40); "VOLUME (c
M = M + 1
NEXT J
GOTO 12001
1501 X$(J) = "END": Y$(J) = "END": LOCATE 25, 1: PRINT "(S)top encountered. Mor
1511 IF a$ = "Y" OR a$ = "y" THEN MR = MR - 1: LOCATE 25, 1: PRINT "
1521 GOTO 4621
1901 ipd$ = INKEY$: IF ipd$ = "" THEN 1901 ELSE RETURN
4621 IF LP = 1 THEN LPRINT CHR$(12)
4631 END
4781 IF XX1 > 99999.990000000001# OR XX1 < -99999.990000000001# OR ABS(XX1) < .000
4782 IF XX1 > -99999.9999# AND XX1 < 99999.9999# THEN C5$ = "#####.#"
4783 IF XX1 = 0 THEN C2$ = "#####.#"
4784 RETURN

```

```

4791 IF YY1 > 9999.99# OR YY1 < -999.99# OR ABS(YY1) < .0001 THEN C5$ = "#.##^"
4792 IF YY1 > -999.999900000001# AND YY1 < 9999.999900000001# THEN C5$ = "####.#"
4793 IF YY1 = 0 THEN C2$ = "####.##"
4794 RETURN
5001 IF LEFT$(Q1$, 1) = "S" OR LEFT$(Q1$, 1) = "s" THEN LP = 1 ELSE LP = 0
5011 RETURN

```

```

12001 FOR I = 1 TO NUMCOL
      RAI(I) = VAL(X$(I))
      VOL(I) = VAL(Y$(I))
NEXT I
3011 CLS : M = 1: MR = 1: MC = 1: MR2 = 0

```

IPH - UNI v 1.0 - ENTRASI			IPH / 1993		MIRANDA, G.
CONFIRMACAO DA ENTRADA DE DADOS					
[tecle <ENTER> para confirmar os dados]					
RAIO	VOLUME	RAIO	VOLUME	RAIO	VOLUME
tecle <ENTER> para continuar ou C para correcoes					

```

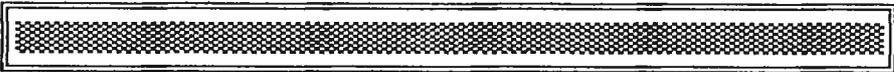
PRINT "
FOR I = 1 TO 13: PRINT "
NEXT I
PRINT "
PRINT "
PRINT "
N = 1
FOR J = 1 TO NUMCOL
051 IF X$(J) = "" THEN X$(J) = "DEL"
    IF Y$(J) = "" THEN Y$(J) = "DEL"
    LOCATE 8 + MR, MC + 11: XX1 = RAI(J): IF X$(J) = "DEL" THEN PRINT " DEL";
    LOCATE 8 + MR, MC + 22: YY1 = VOL(J): IF Y$(J) = "DEL" THEN PRINT " DEL";
    MR = MR + 1
    IF N MOD 13 = 0 THEN MR = 1: MC = MC + 20
    IF N MOD 39 = 0 THEN MR = 1: MC = 1
    IF LEFT$(X$(J), 1) = "S" OR LEFT$(X$(J), 1) = "s" OR LEFT$(Y$(J), 1) = "S"
    IF LP = 1 THEN LPRINT "RAIO (m) ( "; J; " )= "; X$(J); TAB(40); "VOLUME (c
    N = N + 1
    IF J = 39 THEN LOCATE 23, 57: INPUT "MAIS DADOS", para: LOCATE 23, 57: PRI
    IF J = 78 THEN LOCATE 23, 57: INPUT "MAIS DADOS", para: LOCATE 23, 57: PRI
NEXT J
LOCATE 23, 70: INPUT "", KK$
IF KK$ <> "C" AND KK$ <> "c" GOTO 47
3 LOCATE 23, 12: PRINT "
  LOCATE 23, 12: INPUT "
  CORRIGIR RAO (R) OU VOLUME (V) ",
  IF WHQ$ <> "V" AND WHQ$ <> "v" GOTO 465
  LOCATE 23, 12: PRINT "
  LOCATE 23, 12: INPUT " VOLUME N° ", K
  LOCATE 23, 40: INPUT " NOVO VALOR => ", VOL(K)
  GOTO 3011
65 LOCATE 23, 12: PRINT "
  LOCATE 23, 12: INPUT " RAO N° ", K
  LOCATE 23, 40: INPUT " NOVO VALOR => ", RAI(K)
4 GOTO 3011
7 IF OTW$ = "1" THEN GOTO 1930
  IF OTW$ = "2" THEN GOTO 1950

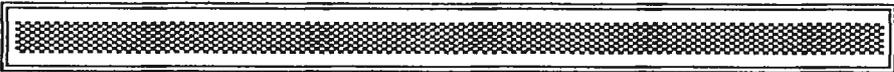
```

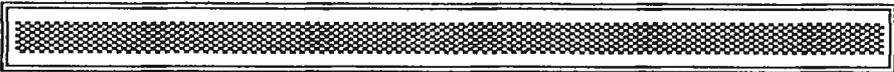
DIM LAM!(NUMCOL)
PI = 3.141592654#
AUNF = ((DICOL ^ 2) * PI) / 4
FOR I = 1 TO NUMCOL
IF VOL(I) = 0 THEN LAM!(I) = 0 ELSE LAM!(I) = (((VOL(I) / AUNF) * 600)
NEXT I

CLS

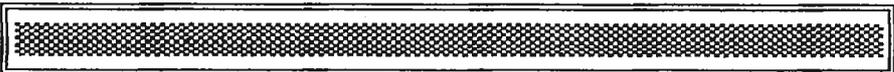
IF NUMBO\$ = "1" THEN BSEC = 0! AND CD2 = 1!

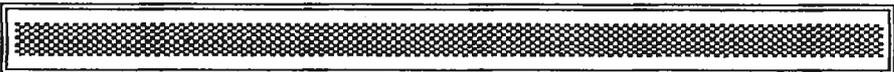
LOCATE 15, 18: PRINT "  "

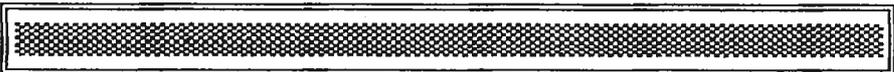
LOCATE 16, 18: PRINT "  "

LOCATE 17, 18: PRINT "  "

LOCATE 16, 29: PRINT "USAR NO MAXIMO 6 CARACTERES"

LOCATE 10, 18: PRINT "  "

LOCATE 11, 18: PRINT "  "

LOCATE 12, 18: PRINT "  "

125 LOCATE 11, 24: PRINT " NOME DO ARQUIVO DE DADOS = _____ "

LOCATE 11, 52: INPUT "", D\$

IF D\$ = "" THEN GOTO 125

LOCATE 11, 25: PRINT "ESCREVENDO ARQUIVO DE DADOS "; D\$: PRINT

OPEN "O", 1, D\$ + ".LAM": PRINT #1, PS; QS; BPR; BSEC; AHA; TETA; CD1; CD2

FOR I = 1 TO NUMCOL

PRINT #1, RAI(I); LAM!(I)

NEXT I: CLOSE 1

CLEAR

GOTO 100

1950 REM *** CALCULO DA LAMINA DE AGUA PRECIPITADA DE COLETORES DE SUPERFICIE

DIM LAM!(NUMCOL)

FOR I = 1 TO 44

READ ARE(I)

NEXT I

FOR I = 1 TO NUMCOL

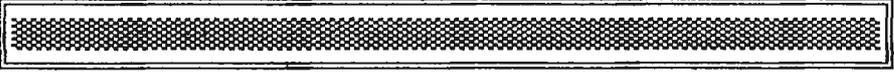
IF VOL(I) = 0 THEN LAM!(I) = 0 ELSE LAM!(I) = (((VOL(I) / ARE(I)) * 60

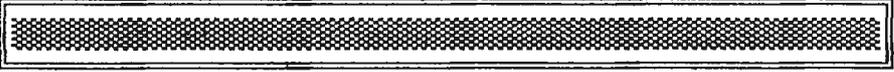
NEXT I

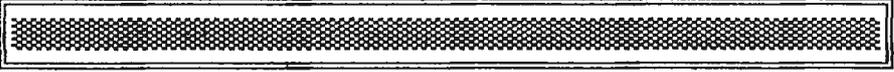
CLS

IF NUMBO\$ = "1" THEN BSEC = 0! AND CD2 = 1!

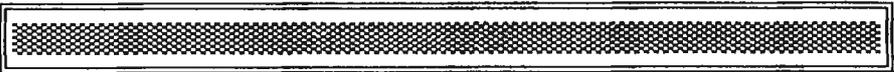
IF OTW\$ = "1" THEN DICOL = 0!

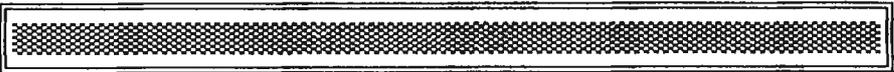
LOCATE 15, 18: PRINT "  "

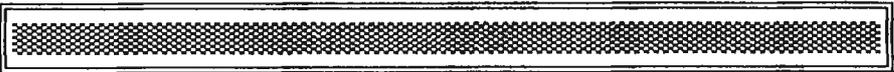
LOCATE 16, 18: PRINT "  "

LOCATE 17, 18: PRINT "  "

LOCATE 16, 24: PRINT "USAR NO MAXIMO 6 CARACTERES"

LOCATE 10, 18: PRINT "  "

LOCATE 11, 18: PRINT "  "

LOCATE 12, 18: PRINT "  "

35 LOCATE 11, 24: PRINT " NOME DO ARQUIVO DE DADOS = _____ "

LOCATE 11, 52: INPUT "", D\$

IF D\$ = "" THEN GOTO 35

LOCATE 11, 25: PRINT "ESCREVENDO ARQUIVO DE DADOS "; D\$: PRINT

OPEN "O", 1, D\$ + ".LAM": PRINT #1, PS; QS; BPR; BSEC; AHA; TETA; CD1; CD2;

```
FOR I = 1 TO NUMCOL
  PRINT #1, RAI(I); LAM!(I)
NEXT I: CLOSE 1
CLEAR
GOTO 100
```

2000 REM *** LEITURA DE DADOS EM ARQUIVO ***

```
CLS
LOCATE 10, 18: PRINT "
LOCATE 11, 18: PRINT "
LOCATE 12, 18: PRINT "
25 LOCATE 11, 25: PRINT " NOME DO ARQUIVO DE DADOS = _____ "
LOCATE 11, 53: INPUT "", D$
IF D$ = "" THEN GOTO 25
LOCATE 11, 25: PRINT " LENDO O ARQUIVO "; D$
OPEN "I", 1, D$ + ".LAM!": INPUT #1, PS, QS, BPR, BSEC, AHA, TETA, CD1, CD2

XX = 2 * NUMCOL
DIM LAM!(XX)
FOR I = 1 TO NUMCOL
  INPUT #1, RAI(I), LAM!(I)
NEXT I: CLOSE 1
IF NUMBO$ = "1" THEN GOTO 2300
IF NUMBO$ = "2" THEN GOTO 2600
```

2300 REM *** LEITURA DE DADOS DO ARQUIVO DO ASPERSOR COM UM BOCAL ***

```
CLS
LOCATE 1, 18: PRINT "
LOCATE 2, 18: PRINT "
LOCATE 3, 18: PRINT "
LOCATE 2, 24: PRINT " CARACTERISTICA OPERACIONAL DO ASPERSOR "

LOCATE 5, 9: PRINT "
FOR I = 1 TO 15
  LOCATE I + 5, 9: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 20, 9: PRINT "

LOCATE 7, 15: PRINT "* - PRESSAO DE SERVICO DO ASPERSOR ..... ";
LOCATE 9, 15: PRINT "* - VAZAO DO ASPERSOR ..... ";
LOCATE 11, 15: PRINT "* - DIAMETRO DO BOCAL PRINCIPAL DO ASPERSOR..... ";
LOCATE 13, 15: PRINT "* - COEFICIENTE DE VAZAO DO BOCAL DO ASPERSOR... ";
LOCATE 15, 15: PRINT "* - ANGULO DE INCLINACAO DO BOCAL DO ASPERSOR... ";
LOCATE 17, 15: PRINT "* - ALTURA DA HASTE DO ASPERSOR ..... ";
LOCATE 19, 15: PRINT "* - TEMPO DE DURACAO DO ENSAIO ..... ";
LOCATE 21, 9: PRINT "
LOCATE 22, 9: PRINT "
LOCATE 23, 9: PRINT "
LOCATE 22, 2: INPUT " ***** OS DADOS ESTAO CORRETOS (S/N)
IF E$ = "N" OR E$ = "n" THEN GOTO 1300
IF NUMBO$ = "1" THEN GOTO 2350
```

```

LOCATE 1, 18: PRINT "
LOCATE 2, 18: PRINT "
LOCATE 3, 18: PRINT "
LOCATE 2, 26: PRINT "  CONDICÕES CLIMATOLÓGICAS DO ENSAIO  "

LOCATE 5, 11: PRINT "
FOR I = 1 TO 15
  LOCATE I + 5, 11: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 20, 11: PRINT "

LOCATE 6, 15: PRINT "* - VELOCIDADE DO VENTO ..... ";
LOCATE 8, 15: PRINT "* - ALTURA DO ANEMOMETRO ..... ";
LOCATE 10, 15: PRINT "* - ÂNGULO DE INCIDÊNCIA DO VENTO AO EIXO X ..... ";
LOCATE 12, 15: PRINT "* - TEMPERATURA DO BULBO SECO ..... ";
LOCATE 14, 15: PRINT "* - TEMPERATURA DO BULBO ÚMIDO ..... ";
LOCATE 16, 15: PRINT "* - EVAPORAÇÃO OCORRIDA DURANTE O ENSAIO ..... ";
LOCATE 18, 15: PRINT "* - ALTURA DO PLUVIÔMETRO ..... ";
LOCATE 21, 11: PRINT "
LOCATE 22, 11: PRINT "
LOCATE 23, 11: PRINT "
LOCATE 22, 2: INPUT "          ***** OS DADOS ESTÃO CORRETOS (S/N)
IF E$ = "N" OR E$ = "n" THEN GOTO 1350
IF NUMBOS$ = "1" THEN GOTO 2800

```

```

600 REM *** LEITURA DE DADOS DO ARQUIVO DO ASPERSOR COM DOIS BOCAIS ***
CLS

```

```

LOCATE 1, 18: PRINT "
LOCATE 2, 18: PRINT "
LOCATE 3, 18: PRINT "
LOCATE 2, 24: PRINT "  CARACTERÍSTICA OPERACIONAL DO ASPERSOR  "

LOCATE 3, 11: PRINT "
FOR I = 1 TO 17
  LOCATE I + 3, 11: PRINT " ||
NEXT I

LOCATE 21, 11: PRINT "
LOCATE 4, 13: PRINT "* - PRESSÃO DE SERVIÇO DO ASPERSOR ..... "; P
LOCATE 6, 13: PRINT "* - VAZÃO DO ASPERSOR ..... "; Q
LOCATE 8, 13: PRINT "* - DIÂMETRO DO BOCAL PRINCIPAL DO ASPERSOR .... "; B
LOCATE 10, 13: PRINT "* - DIÂMETRO DO BOCAL SECUNDÁRIO DO ASPERSOR .. "; B
LOCATE 12, 13: PRINT "* - COEFICIENTE DE VAZÃO DO BOCAL PRINCIPAL ... "; C
LOCATE 14, 13: PRINT "* - COEFICIENTE DE VAZÃO DO BOCAL SECUNDÁRIO .. "; C
LOCATE 16, 13: PRINT "* - ÂNGULO DO BOCAL DO ASPERSOR ..... "; T
LOCATE 18, 13: PRINT "* - ALTURA DA HASTE DO ASPERSOR ..... "; A
LOCATE 20, 13: PRINT "* - TEMPO DE DURAÇÃO DO ENSAIO ..... "; T
LOCATE 21, 11: PRINT "
LOCATE 22, 11: PRINT "
LOCATE 23, 11: PRINT "
LOCATE 22, 14: INPUT "          ***** DESEJA IMPRIMIR OS DADOS (S/N) *****
IF E$ = "S" OR E$ = "s" THEN GOTO 3600
IF E$ = "N" OR E$ = "n" THEN GOTO 2650

```

```

LOCATE 1, 18: PRINT "
LOCATE 2, 18: PRINT "
LOCATE 3, 18: PRINT "
LOCATE 2, 26: PRINT " CONDICoes CLIMATOLOGICAS DO ENSAIO "

LOCATE 5, 11: PRINT "
FOR I = 1 TO 15
  LOCATE I + 5, 11: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 20, 11: PRINT "

LOCATE 6, 14: PRINT "* - VELOCIDADE DO VENTO ..... ";
LOCATE 8, 14: PRINT "* - ALTURA DO ANEMOMETRO ..... ";
LOCATE 10, 14: PRINT "* - ANGULO DE INCIDENCIA DO VENTO AO EIXO X .... ";
LOCATE 12, 14: PRINT "* - TEMPERATURA DO BULBO SECO ..... ";
LOCATE 14, 14: PRINT "* - TEMPERATURA DO BULBO UMIDO ..... ";
LOCATE 16, 14: PRINT "* - EVAPORACAO OCORRIDA DURANTE O ENSAIO ..... ";
LOCATE 18, 14: PRINT "* - ALTURA DO PLUVIOMETRO ..... ";
LOCATE 21, 9: PRINT "
LOCATE 22, 9: PRINT "
LOCATE 23, 9: PRINT "
LOCATE 22, 14: INPUT " ***** DESEJA IMPRIMIR OS DADOS (S/N) *****
IF PQE$ = "S" OR PQE$ = "s" THEN GOTO 3350
IF PQE$ = "N" OR PQE$ = "n" THEN GOTO 2800

```

```

2800 DIM X$(NUMCOL), Y$(NUMCOL)
CLS : M = 1: MR = 1: MC = 1: MR2 = 0

```

```

PRINT "
FOR I = 1 TO 13: PRINT "
NEXT I
PRINT "
PRINT "
PRINT "
N = 1
FOR J = 1 TO NUMCOL
  LOCATE 8 + MR, MC + 11: XX1 = RAI(J): IF X$(J) = "DEL" THEN PRINT " DE
  LOCATE 8 + MR, MC + 22: YY1 = LAM!(J): IF Y$(J) = "DEL" THEN PRINT " D
  MR = MR + 1
  IF N MOD 13 = 0 THEN MR = 1: MC = MC + 20
  IF N MOD 39 = 0 THEN MR = 1: MC = 1
  N = N + 1
  IF J = 43 THEN LOCATE 23, 67: INPUT "MAIS DADOS", para: LOCATE 23, 67:
  IF J = 86 THEN LOCATE 23, 67: INPUT "MAIS DADOS", para: LOCATE 23, 67:
NEXT J

LOCATE 23, 70: INPUT "", KK$
IF KK$ <> "c" AND KK$ <> "C" THEN CLEAR
GOTO 100

```

IPH-UNI - ENTRASI		IPH / 1993		MIRANDA, GUILHERME X. J	
LISTAGEM DA ENTRADA DE DADOS VIA ARQUIVO					
* [Estes dados poderam sofrer alteracao neste momento					
RAIO	PRECIP.	RAIO	PRECIP.	RAIO	PRECIP.
*Unid.:RAIO (m) e PRECIPITACAO(mm/h)-<ENTER> ou CORRECAO					


```

LPRINT
LPRINT TAB(10); "
LPRINT TAB(10); " * - VELOCIDADE DO VENTO ..... "; V;
LPRINT TAB(10); " * - ALTURA DO ANEMOMETRO ..... "; AA;
LPRINT TAB(10); " * - ANGULO DE INCIDENCIA DO VENTO AO EIXO X .... "; ALF
LPRINT TAB(10); " * - TEMPERATURA DO BULBO SECO ..... "; TBS
LPRINT TAB(10); " * - TEMPERATURA DO BULBO UMIDO ..... "; TBU
LPRINT TAB(10); " * - EVAPORACAO OCORRIDA DURANTE O ENSAIO ..... "; EVA
LPRINT TAB(10); " * - ALTURA DO PLUVIOMETRO ..... "; AC;
LPRINT TAB(10); "

```

GOTO 2800

3600 REM *** IMPRESSAO DE RELATORIO DO ASPERSOR DE 2 BOCAIS ***

```

CLS
LOCATE 10, 18: PRINT "
LOCATE 11, 18: PRINT "
LOCATE 12, 18: PRINT "

```

```

LOCATE 11, 20: INPUT " A IMPRESSORA ESTA NA POSICAO CORRETA (S/N) ", POE$
IF POE$ = "N" OR E$ = "n" THEN GOTO 3600

```

```

CLS
LPRINT TAB(17); "
LPRINT TAB(17); "
LPRINT TAB(17); "
LPRINT
LPRINT

```

```

LPRINT TAB(10); "
LPRINT TAB(10); " * - PRESSAO DE SERVICO DO ASPERSOR ..... "; PS;
LPRINT TAB(10); " * - VAZAO DO ASPERSOR ..... "; QS;
LPRINT TAB(10); " * - DIAMETRO DO BOCAL PRINCIPAL DO ASPERSOR.... "; BPR;
LPRINT TAB(10); " * - DIAMETRO DO BOCAL SECUNDARIO DO ASPERSOR .. "; BSEC
LPRINT TAB(10); " * - COEFICIENTE DE VAZAO DO BOCAL PRINCIPAL ... "; CD1;
LPRINT TAB(10); " * - COEFICIENTE DE VAZAO DO BOCAL SECUNDARIO .. "; CD2;
LPRINT TAB(10); " * - ANGULO DE INCLINACAO DO BOCAL DO ASPERSOR.. "; TETA
LPRINT TAB(10); " * - ALTURA DA HASTE DO ASPERSOR ..... "; AHA;
LPRINT TAB(10); " * - TEMPO DE DURACAO DO ENSAIO ..... "; TEMP;
LPRINT TAB(10); "

```

GOTO 2650

1000 REM *** RETORNANDO AO SISTEMA OPERACIONAL ***

```

CALL TELAFINAL
CLS
END

```

REM *** DADOS DAS AREAS DO COLETORES DE SUPERFICIE CRESCENTE ***

DATA 122.990000
DATA 189.723125
DATA 250.400938
DATA 310.612969
DATA 375.340625
DATA 438.663750
DATA 511.638750
DATA 568.186667
DATA 635.201696
DATA 706.986016
DATA 769.781250
DATA 832.217361
DATA 902.190972
DATA 956.573063
DATA 1021.483313
DATA 1095.636477
DATA 1131.444545
DATA 1205.391250
DATA 1272.657656
DATA 1331.914904
DATA 1409.764464
DATA 1464.265045
DATA 1528.191205
DATA 1567.883250
DATA 1644.914375
DATA 1677.829688
DATA 1746.820664
DATA 1853.044191
DATA 1887.136875
DATA 1994.292083
DATA 2067.180208
DATA 2084.326316
DATA 2149.681118
DATA 2175.149813
DATA 2270.170000
DATA 2380.761696
DATA 2325.592500
DATA 2458.345199
DATA 2535.547159
DATA 2552.791304
DATA 2633.646033
DATA 2768.446875
DATA 2749.707813
DATA 2836.229000

SUB TELAFINAL
REM ***** Tela de finalizacao *****

CLS

```
a$ = "=====
```

```
WHILE INKEY$ <> "": WEND  
MOLE3.MOLDURA$ = STRING$(1, 26)  
MOLE1.MOLDURA$ = STRING$(1, 24)  
MOLE2.MOLDURA$ = STRING$(1, 25)  
WHILE INKEY$ = ""  
LOCATE 8, 15: PRINT "=====
```

```
FOR I = 1 TO 6  
LOCATE 8 + I, 15: PRINT "||"  
LOCATE 8 + I, 65: PRINT "||"
```

BRUNO
BRUNO DA SILVA


```

DECLARE SUB IMPRESSAO ( )
DECLARE SUB TELAFINAL ( )
DECLARE SUB TELAPRES ( )
COMMON D$
DECLARE SUB CALSIMULA (D$, NUMCOL!, LAM!())
DECLARE SUB CALOBSER (D$, NUMCOL!, RAI(), LAM!())
/*****
/****
/****
/****          PROGRAMA DE SIMULACAO DE DISTRIBUICAO DE AGUA
/****
/****          DE ASPERSORES DE IRRIGACAO
/****
/****          INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS - IPH / UFRGS
/****
/****          CALUNI.BAS
/**** Desenvolvido por:
/****
/****          GUILHERME XAVIER DE MIRANDA JUNIOR
/****          Eng. Agronomo
/****          CREA - S1 - 30805 - 9
/****
/*****

```

```

-----
REM TELA DE APRESENTACAO
CALL TELAPRES
-----

```

```

4000 REM *** CALCULO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUICAO A PARTIR ***
REM *** DO PERFIL DE DISTRIBUICAO DE AGUA DO ASPERSOR ***
CLEAR
CLS
LOCATE 1, 18: PRINT " "
LOCATE 2, 18: PRINT " "
LOCATE 3, 18: PRINT " "
LOCATE 2, 26: PRINT " MENU PARA A ESCOLHA DO CALCULO "
LOCATE 6, 18: PRINT " "
FOR I = 1 TO 10
  LOCATE I + 6, 18: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 16, 18: PRINT " "
COLOR 0, 7: LOCATE 8, 25: PRINT " 1 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Calculo
COLOR 0, 7: LOCATE 11, 25: PRINT " 2 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Leitur
COLOR 0, 7: LOCATE 14, 25: PRINT " 3 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Return

LOCATE 21, 20: PRINT " "
LOCATE 22, 20: PRINT " "
LOCATE 23, 20: PRINT " "
LOCATE 22, 30: PRINT " FACA SUA ESCOLHA = ____ "
LOCATE 22, 52: INPUT "", OW$

IF OW$ = "1" THEN GOTO 4300
IF OW$ = "2" THEN GOTO 4600
IF OW$ = "3" THEN GOTO 5000

```

IF OW\$ <> "1" OR OW\$ <> "2" OR OW\$ <> "3" THEN GOTO 4000

4300 REM *** CALCULO DE DADOS OBSERVADOS ***

REM *** LEITURA DE DADOS EM ARQUIVO ***
CLS

LOCATE 10, 18: PRINT "
LOCATE 11, 18: PRINT "
LOCATE 12, 18: PRINT "
LOCATE 11, 24: PRINT " NOME DO ARQUIVO DE DADOS = _____ "
LOCATE 11, 52: INPUT "", D\$
OPEN "I", 1, D\$ + ".LAM!"
INPUT #1, PS, QS, BPR, BSEC, AHA, TETA, CD1, CD2, TEMPO, V, AA, ALFA, TBS,

XX = 2 * NUMCOL
DIM RAI(XX), LAM!(XX)
FOR I = 1 TO NUMCOL
 INPUT #1, RAI(I), LAM!(I)
NEXT I: CLOSE 1

REM *** CALCULO DE DADOS OBSERVADOS ***
CALL CALOBSER(D\$, NUMCOL, RAI(), LAM!())
GOTO 4000

4500 REM *** IMPRESSAO DE RELATORIO ***

REM *** IMPRESSAO ***
CALL IMPRESSAO
GOTO 4000

REM TELA FINAL

000 CALL TELAFINAL
CLS
END

UB CALOBSER (D\$, NUMCOL, RAI(), LAM!())

REM *** CALCULO DA VAZAO POR INTEGRAL ***
DIM TXY!(NUMCOL)
PI = 3.141592654#
S = 0!
D! = .5
FOR I = 1 TO NUMCOL
 TXY! = 1
 TY!(I) = PI * (TXY! ^ 2) * (LAM!(I))

TX! = 0 + (2 * I - 1) * D

OS! = OS! + TY!(I)

NEXT I

REM *** GERACAO DA MATRIX A PARTIR DO RAI0 ***

CLS

XX = (2 * NUMCOL)

CZ = XX

DIM MO(XX, XX), MA(NUMCOL, NUMCOL)

FOR J = 1 TO NUMCOL

FOR I = 1 TO NUMCOL

LZ = 0: AA = 0: AB = 0: AC = 0: AD = 0: AE = 0

AA = SQR(((J - 1!) ^ 2 + (I - 1!) ^ 2))

AB = AA + 1!

AC = FIX(AB)

AD = AC + 1!

AE = AB - AC

IF AB > NUMCOL THEN LZ = 1 ELSE GOTO 4320

GOTO 4350

IF LAM!(AD) >= LAM!(AC) THEN

MA(J, I) = LAM!(AC) + ((LAM!(AD) - LAM!(AC)) * AE)

ELSE

MA(J, I) = LAM!(AC) - ((LAM!(AC) - LAM!(AD)) * AE)

END IF

IF LZ = 0 THEN GOTO 4390

MA(J, I) = 0

NEXT I

NEXT J

REM *** REBATIMENTO NOS DEMAIS QUADRANTES ***

FOR J = 1 TO XX

FOR I = 1 TO XX

IF J <= NUMCOL AND I <= NUMCOL THEN MO(J, I) = MA((NUMCOL - J + 1)

IF J > NUMCOL AND I <= NUMCOL THEN MO(J, I) = MA((J - NUMCOL), (NU

IF J <= NUMCOL AND I > NUMCOL THEN MO(J, I) = MA((NUMCOL - J + 1),

IF J > NUMCOL AND I > NUMCOL THEN MO(J, I) = MA((J - NUMCOL), (I -

NEXT I

NEXT J

REM *** IMPRIMINDO OS VALORES DE LAMINA NOS QUADRANTES REBATIDOS ***

OPEN "O", 1, D\$ + ".VAL"

FOR J = 1 TO XX

FOR I = 1 TO XX

PRINT #1, J; I; MO(J, I)

NEXT I

NEXT J

CLOSE 1

1400 REM *** CRIANDO ARQUIVO DE DADOS CALCULADOS ***

OPEN "O", 1, D\$ + ".CUC"

K = 19

REM *** ESPACAMENTO DESEJADOS ***

CON = 1

```
4450 IF CON = 1 THEN VZIN = 12: HZIN = 12
IF CON = 2 THEN VZIN = 12: HZIN = 24
IF CON = 3 THEN VZIN = 24: HZIN = 24
IF CON = 4 THEN VZIN = 24: HZIN = 36
IF CON = 5 THEN VZIN = 36: HZIN = 36
IF CON = 6 THEN VZIN = 36: HZIN = 48
IF CON = 7 THEN VZIN = 48: HZIN = 48
IF CON = 8 THEN VZIN = 48: HZIN = 60
IF CON = 9 THEN VZIN = 60: HZIN = 60
IF CON = 10 THEN VZIN = 60: HZIN = 72
IF CON = 11 THEN VZIN = 72: HZIN = 72
```

CLS

LOCATE 12, 5: PRINT "

LOCATE 13, 5: PRINT "

LOCATE 13, 5: PRINT "

LOCATE 14, 5: PRINT "

CALCULANDO OS PARAMETROS A PARTIR DOS ESPACAMENTOS

REM *** ROTINA DE SOBREPOSICAO ***

DIM B(VZIN, HZIN)

KV = VZIN

N = CZ

FOR I = N / 2 TO 1 STEP -1

KH = HZIN

FOR J = N / 2 TO 1 STEP -1

B(KV, KH) = B(KV, KH) + MO(I, J)

B(KV, HZIN - KH + 1) = B(KV, HZIN - KH + 1) + MO(I, N - J + 1)

B(VZIN - KV + 1, KH) = B(VZIN - KV + 1, KH) + MO(N - I + 1, J)

B(VZIN - KV + 1, HZIN - KH + 1) = B(VZIN - KV + 1, HZIN - KH + 1) +

KH = KH - 1

IF KH < 1 THEN KH = HZIN

NEXT J

KV = KV - 1

IF KV < 1 THEN KV = VZIN

NEXT I

1420 REM *** CALCULO DOS PARAMETROS ***

DIM X(HZIN * VZIN), Y(HZIN * VZIN)

X = HZIN * VZIN

K = 1

FOR I = 1 TO VZIN

FOR J = 1 TO HZIN

X(K) = B(I, J)

K = K + 1

NEXT J

NEXT I

K = 0

S = 0: S2 = 0: S7 = 0: S3 = 0!

FOR I = 1 TO X

S! = S! + X(I)

NEXT I

M! = (S! / X)

```

M1! = (S! / (X - 1))
FOR I = 1 TO X
  S2! = S2! + ABS(X(I) - M!)
  S3! = S3! + ((X(I) - M!) ^ 2)
  Y(I) = X(I) / M!
NEXT I
DESVP! = SQR(S3! / M!)
CUC! = ((1 - (S2! / S!)) * 100)
CUE! = ((1 - (DESVP! / M!)) * 100)
DESVPA = (INT(((ABS(S3 / (X! - 1))) ^ .5) * 1000 + .5)) / 1000
COEVAR = (INT(((ABS(S3 / (X! - 1))) ^ .5) / M!) * 1000 + .5) / 1000
IF CUC! < 0 THEN CUC! = 0!
IF CUE! < 0 THEN CUE! = 0!
IF CON > 11 THEN GOTO 4550
1500 PRINT #1, VZIN / 2; HZIN / 2; M!; DESVP!; CUC!; CUE!

CON = CON + 1
ERASE B, X, Y

GOTO 4450

1550 CLOSE 1

```

END SUB

SUB IMPRESSAO

```

REM *** LEITURA DE DADOS EM ARQUIVO ***
CLS

LOCATE 10, 18: PRINT "
LOCATE 11, 18: PRINT "
LOCATE 12, 18: PRINT "
LOCATE 11, 24: PRINT " NOME DO ARQUIVO DE DADOS = _____ "
LOCATE 11, 52: INPUT "", D$
K = 19

OPEN "I", 1, D$ + ".CUC"

DIM VZIN(K), HZIN(K), M!(K), DESVP!(K), CUC!(K), CUE!(K)
FOR I = 1 TO 11
  INPUT #1, VZIN(I), HZIN(I), M!(I), DESVP!(I), CUC!(I), CUE!(I)
NEXT I: CLOSE 1

```

1300 CLS

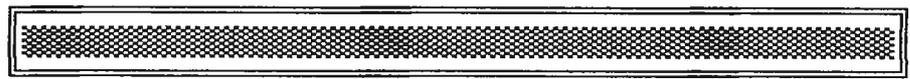
```

LOCATE 1, 17: PRINT "
LOCATE 2, 17: PRINT "
LOCATE 3, 17: PRINT "

LOCATE 5, 12: PRINT "
LOCATE 6, 12: PRINT "
LOCATE 7, 12: PRINT "
FOR I = 1 TO 11
  LOCATE I + 7, 12: PRINT "
NEXT I
LOCATE 19, 12: PRINT "

FOR I = 1 TO 11

```



Ea	El	Media	Des.Padr.	CUC(%)
----	----	-------	-----------	--------

```
LOCATE I + 7, 15: PRINT ; VZIN(I); "||"; HZIN(I); "||"; M!(I); " ||"; DE
```

```
NEXT I
```

```
INPUT "", G$
```

```
END SUB
```

```
SUB TELAFINAL
```

```
REM ***** Tela de finalizacao *****
```

```
CLS
```

```
a$ = "_____"
```

```
WHILE INKEY$ <> "": WEND
```

```
MOLE3.MOLDURA$ = STRING$(1, 26)
```

```
MOLE1.MOLDURA$ = STRING$(1, 24)
```

```
MOLE2.MOLDURA$ = STRING$(1, 25)
```

```
WHILE INKEY$ = ""
```

```
LOCATE 8, 15: PRINT "_____"
```

```
FOR I = 1 TO 6
```

```
LOCATE 8 + I, 15: PRINT "||"
```

```
LOCATE 8 + I, 65: PRINT "||"
```

```
NEXT I
```

```
LOCATE 15, 15: PRINT "_____"
```

```
LOCATE 10, 17: PRINT " * OBRIGADO POR UTILIZAR ESTE PROGRAMA * "
```

```
LOCATE 13, 17: PRINT " - TENHA UM BOM DIA -"
```

```
FOR a = 1 TO 5
```

```
LOCATE 1, 1
```

```
PRINT MID$(a$, a, 80);
```

```
LOCATE 22, 1
```

```
PRINT MID$(a$, 6 - a, 80);
```

```
FOR B = 2 TO 21
```

```
C = (a + B) MOD 5
```

```
IF C = 1 THEN
```

```
LOCATE B, 80
```

```
PRINT MOLE1.MOLDURA$;
```

```
LOCATE 23 - B, 1
```

```
PRINT MOLE2.MOLDURA$;
```

```
ELSE
```

```
LOCATE B, 80
```

```
PRINT " ";
```

```
LOCATE 23 - B, 1
```

```
PRINT " ";
```

```
END IF
```

```
NEXT B
```

```
NEXT a
```

```
WEND
```

```
END SUB
```

```
SUB TELAPRES
```

```
REM *** TELA DE APRESENTACAO ***
```

```
REM *** Last modified 21st. May, 1986 ***
```

```
CLS : SCREEN 2
```

```
PSET (0, 0): DRAW "R639 D199 L639 U199"
```

```
DRAW "BR4 BD2 R631 D195 L631 U195"
```

```
DRAW "BR2 BD1 R627 D193 L627 U193"
```

```
DRAW "BR4 BD2 R619 D189 L619 U189"
```

```
LOCATE 3, 19: PRINT "SETOR DE AGUA E SOLO - I.P.H. / U.F.R.G.S."
```

```
FOR X = 172 TO 464
```

```
LINE (X, 85)-(X, 114), X AND 1
```

```
NEXT
```

```
PSET (13, 36): DRAW "R613 D3 L613 U3"
```

PSET (13, 154): DRAW "R613 D3 L613 U3"
LOCATE 12, 22: PRINT " "
LOCATE 13, 22: PRINT " IPH-UNI - v 1.0 - CALUNI "
LOCATE 14, 22: PRINT " "
PSET (168, 82): DRAW "R300 D35 L300 U35"
DRAW "BR2 BD1 R296 D33 L296 U33"
LOCATE 22, 24: PRINT "C": CIRCLE (187, 171), 12
LOCATE 22, 28: PRINT "Guilherme Xavier de Miranda Junior"
LOCATE 23, 34: PRINT "Engenheiro Agronomo"
DO
LOOP WHILE INKEY\$ = ""

SCREEN 0

END SUB

```

DECLARE SUB TELAFINAL ( )
DECLARE SUB TELAPRES ( )
DEF FNF1 (T!, VRT!, VXR!, CM!) = -CM! * VRT! * VXR!
DEF FNF2 (T!, VRT!, VYR!, CM!) = -CM! * VRT! * VYR!
DEF FNF3 (T!, VRT!, VZR!, CM!) = -CM! * VRT! * VZR! - 9.8066

```

```

*****
/ **
/ **
/ **          PROGRAMA DE SIMULACAO DE DISTRIBUICAO DE AGUA
/ **
/ **          DE ASPERSORES DE IRRIGACAO
/ **
/ **          INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS - IPH / UFRGS
/ **
/ **          SIMGOTA.BAS
/ **
/ ** Desenvolvido por:
/ **
/ **          GUILHERME XAVIER DE MIRANDA JUNIOR
/ **          Eng. Agronomo
/ **          CREA - S1 - 30805 - 9
/ **
*****

```

```

REM TELA DE APRESENTACAO

```

```

CALL TELAPRES

```

```

5000 REM ***          SIMULACAO DE DADOS DE PRECIPITACAO          ***
REM *** A PARTIR DAS CARACTERISTICAS OPERACIONAIS DE ASPERSOR ***

```

```

CLEAR

```

```

CLS

```

```

LOCATE 1, 18: PRINT "  "

```

```

LOCATE 2, 18: PRINT "  "

```

```

LOCATE 3, 18: PRINT "  "

```

```

LOCATE 2, 24: PRINT " MENU PARA A ESCOLHA DA SIMULACAO "

```

```

LOCATE 6, 18: PRINT "  "

```

```

FOR I = 1 TO 10

```

```

    LOCATE I + 6, 18: PRINT " ||

```

```

NEXT I

```

```

LOCATE 16, 18: PRINT "  "

```

```

COLOR 0, 7: LOCATE 8, 25: PRINT " 1 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Modelo

```

```

COLOR 0, 7: LOCATE 11, 25: PRINT " 2 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Modelo

```

```

COLOR 0, 7: LOCATE 14, 25: PRINT " 3 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Return

```

```

LOCATE 21, 20: PRINT "  "

```

```

LOCATE 22, 20: PRINT "  "

```

```

LOCATE 23, 20: PRINT "  "

```

```

LOCATE 22, 30: PRINT " FACA SUA ESCOLHA = ____ "

```

```

LOCATE 22, 52: INPUT "", OKW$

```

```

IF OKW$ = "1" THEN GOTO 5300

```

```

IF OKW$ = "2" THEN GOTO 5600

```

IF OKW\$ = "3" THEN GOTO 6000

IF OKW\$ <> "1" OR OKW\$ <> "2" OR OKW\$ <> "3" THEN GOTO 5000

REM ***** SUB-ROTINA PARA O CALCULO DO METODO DE RUNGE-KUTTA *****

REM *** A funcao que sera calculada e': $d^2x/dt^2 = -C2 * Vr * (Vx - Wx)$)
REM *** A funcao que sera calculada e': $d^2y/dt^2 = -C2 * Vr * (Vy - Wx)$)
REM *** A funcao que sera calculada e': $d^2z/dt^2 = -C2 * Vr * (Vz - Wx)$)

5300 REM *** METODO ADOTADO POR FUKUI (1980) PARA O CALCULO ***
REM *** DO COEFICIENTE DE ARRASTE DA GOTA ***
REM *** SIMULACAO PARA O BOCAL PRINCIPAL DO ASPERSOR ***

REM *** LEITURA DE DADOS EM ARQUIVO ***
CLS

LOCATE 10, 18: PRINT " " " "
LOCATE 11, 18: PRINT " " " "
LOCATE 12, 18: PRINT " " " "
LOCATE 11, 24: PRINT " NOME DO ARQUIVO DE DADOS = _____ " "
LOCATE 11, 52: INPUT "", D\$
OPEN "I", 1, D\$ + ".LAM!"
INPUT #1, PS, QS, BPR, BSEC, AHA, TETA, CD1, CD2, TEMPO, V, AA, ALFA, TBS,

XX = 2 * NUMCOL
DIM RAI(XX), LAM!(XX)
FOR I = 1 TO NUMCOL
INPUT #1, RAI(I), LAM!(I)
NEXT I: CLOSE 1

CLS
LOCATE 10, 18: PRINT " " " "
LOCATE 11, 18: PRINT " " " "
LOCATE 12, 18: PRINT " " " "
LOCATE 11, 25: PRINT " NUMERO DE GOTAS A SIMULAR = _____ " "
LOCATE 11, 56: INPUT "", NUGOTAS

CLS
LOCATE 10, 15: PRINT " " " "
LOCATE 11, 15: PRINT " " " "
LOCATE 12, 15: PRINT " " " "
LOCATE 11, 22: PRINT " PERCENTAGEM DA VELOC.INICIAL(-) _____ " "
LOCATE 11, 57: INPUT "", PERVEL

CLS
G! = 9.8066#
PI! = 3.141592654#
TETA! = TETA! * (PI! / 180)
ALFA! = ALFA! * (PI! / 180)
VO! = CD1 * SQR(2 * G! * PS)
VO! = (PERVEL * VO!)

VISC! = 1.3045E-05 + 1.222E-07 * TBS - 9.6471E-10 * (TBS ^ 2) + 7.2873E-12

5350 CLS

VX! = VO! * COS(TETA!)
VY! = VO! * COS(TETA!)
VZ! = VO! * SIN(TETA!)

WX! = V! * COS(ALFA!)
WY! = V! * SIN(ALFA!)
WZ! = 0!

X = 1!: Y = 0!: Z = AHA

DT = .001

T = 0!: DT2 = DT / 2
TQ = 0!

IF TGWN = 1 THEN GOTO 5500

CLS

LOCATE 10, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 18: PRINT " "
LOCATE 12, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 25: PRINT " TAMANHO DE GOTA A SIMULAR = "
LOCATE 11, 56: INPUT "", DIAM

REM *** ABRINDO ARQUIVO DE DADOS SIMULADOS (*.FUK)

OPEN "O", 1, D\$ + ".FUK"

FOR I = 1 TO NUGOTAS

CLS

LOCATE 15, 17: PRINT " "
LOCATE 16, 17: PRINT " "
LOCATE 17, 17: PRINT " "
LOCATE 16, 20: PRINT "SIMULANDO A DISTANCIA PERCORRIDA PELA GOTA "; DIAM

5400 AC! = (AC! * 100)
ZO! = 10 ^ ((.997 * LOG(AC!) / 2.302585) - .883)
DP! = 10 ^ ((.9793 * LOG(AC!) / 2.302585) - 1.536)
ZO! = (ZO! / 100)
DP! = (DP! / 100)
DIFER! = (Z! - DP!)
DIFER2! = (AA! - DP!)

IF WX! = 0! AND WY! = 0! THEN GOTO 5405

IF WX! <> 0! AND WY! <> 0! THEN GOTO 5401

'5401 IF DIFER! <= 0! THEN GOTO 5406
' IF DIFER! > 0! THEN GOTO 5407

'5405 WX = 0!

```
WY = 0!  
WZ = 0!  
GOTO 5410
```

```
5406 RW! = 0!  
WX! = WX * RW!  
WY! = WY * RW!  
WZ! = WZ * RW!  
GOTO 5410
```

```
5407 RW! = ((LOG(DIFER! / ZO)) / (LOG(DIFER2! / ZO)))  
WX! = WX * RW!  
WY! = WY * RW!  
WZ! = WZ * RW!  
GOTO 5410
```

```
IF WX! = 0! AND WY! = 0! THEN WX! = 0! AND WY! = 0! AND WZ! = 0!
```

```
IF WX! <> 0! AND WY! <> 0! THEN GOTO 5401
```

```
5401 IF DIFER! <= 0! THEN RW! = 0!
```

```
IF DIFER! > 0! THEN RW! = (LOG(DIFER! / ZO!) / LOG(DIFER2! / ZO!)) AND W
```

```
5410
```

```
VXR! = (VX! - WX!)  
VYR! = (VY! - WY!)  
VZR! = (VZ! - WZ!)
```

```
VRT! = (SQR((VXR ^ 2) + (VYR ^ 2) + (VZR! ^ 2)))
```

```
REY! = (VRT! * (DIAM / 1000)) / VISC!
```

```
IF REY! <= 100 THEN CD! = (33.3 / REY! - .0033 * REY! + 1.2)
```

```
IF REY! > 100 OR REY! <= 1000 THEN CD! = (72.2 / REY! - .0000556 * REY!
```

```
IF REY! > 1000 THEN CD! = .45
```

```
ARE! = (DIAM * 1.109)
```

```
CM! = (CD! / ARE!)
```

```
T = T + DT: T1 = T + DT2: T2 = T + DT
```

```
KX1! = FNF1(T, VRT!, VXR!, CM!) * DT
```

```
KY1! = FNF2(T, VRT!, VYR!, CM!) * DT
```

```
KZ1! = FNF3(T, VRT!, VZR!, CM!) * DT
```

```
KX2! = FNF1(T1, VRT! + KX1! / 2, VXR! + KY1! / 2, CM!) * DT
```

```
KY2! = FNF2(T1, VRT! + KX1! / 2, VYR! + KY1! / 2, CM!) * DT
```

```
KZ2! = FNF3(T1, VRT! + KX1! / 2, VZR! + KY1! / 2, CM!) * DT
```

```
KX3! = FNF1(T1, VRT! + KX2! / 2, VXR! + KY2! / 2, CM!) * DT
```

```
KY3! = FNF2(T1, VRT! + KX2! / 2, VYR! + KY2! / 2, CM!) * DT
KZ3! = FNF3(T1, VRT! + KX2! / 2, VZR! + KY2! / 2, CM!) * DT
```

```
KX4! = FNF1(T2, VRT! + KX3!, VXR! + KY3!, CM!) * DT
KY4! = FNF2(T2, VRT! + KX3!, VYR! + KY3!, CM!) * DT
KZ4! = FNF3(T2, VRT! + KX3!, VZR! + KY3!, CM!) * DT
```

```
VX! = VX! + (KX1! + 2 * KX2! + 2 * KX3! + KX4!) / 6
VY! = VY! + (KY1! + 2 * KY2! + 2 * KY3! + KY4!) / 6
VZ! = VZ! + (KZ1! + 2 * KZ2! + 2 * KZ3! + KZ4!) / 6
```

```
X! = X! + (VX! * DT)
Y! = Y! + (VY! * DT)
Z! = Z! + (VZ! * DT)
TQ = DT + TQ
```

```
PRINT #1, DIAM; TQ; REY!; CD!; CM!; X!; Y!; Z!
```

```
AC! = (AC! / 100)
IF Z! < AC! THEN GOTO 5450
GOTO 5400
```

5450

```
PRINT #1, DIAM; TQ; VX!; VZ!; X!; Z!
```

```
CLS
NUVEZES = NUVEZES + 1
IF NUVEZES = NUGOTAS THEN GOTO 5500
CLS
FOR TY = 1 TO 1
  BEEP
NEXT TY
```

```
LOCATE 10, 18: PRINT "
LOCATE 11, 18: PRINT "
LOCATE 12, 18: PRINT "
LOCATE 11, 25: PRINT " NOVO TAMANHO DE GOTA A SIMULAR = "
LOCATE 11, 59: INPUT "", DIAMDIF
DIAM = DIAMDIF
```

```
DIAM = DIAM + .01
TGWN = 1
GOTO 5350
500 NEXT I
CLOSE 1
FOR TY = 1 TO 3
  BEEP
NEXT TY
CLEAR
GOTO 5000
```

```
600 REM *** METODO ADOTADO POR HILLS (1989) PARA O CALCULO ***
REM *** DO COEFICIENTE DE ARRASTE DA GOTA ***
```

REM *** SIMULACAO PARA O BOCAL PRINCIPAL DO ASPERSOR ***

REM *** LEITURA DE DADOS EM ARQUIVO ***

CLS

```
LOCATE 10, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 18: PRINT " "
LOCATE 12, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 24: PRINT " NOME DO ARQUIVO DE DADOS = _____ "
LOCATE 11, 52: INPUT "", D$
OPEN "I", 1, D$ + ".LAM!"
INPUT #1, PS, QS, BPR, BSEC, AHA, TETA, CD1, CD2, TEMPO, V, AA, ALFA, TBS,
```

```
XX = 2 * NUMCOL
DIM RAI(XX), LAM!(XX)
FOR I = 1 TO NUMCOL
    INPUT #1, RAI(I), LAM!(I)
NEXT I: CLOSE 1
```

CLS

```
LOCATE 10, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 18: PRINT " "
LOCATE 12, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 25: PRINT " NUMERO DE GOTAS A SIMULAR = _____ "
LOCATE 11, 56: INPUT "", NUGOTAS
```

CLS

```
LOCATE 10, 15: PRINT " "
LOCATE 11, 15: PRINT " "
LOCATE 12, 15: PRINT " "
LOCATE 11, 22: PRINT " PERCENTAGEM DA VELOC.INICIAL(-) _____ "
LOCATE 11, 57: INPUT "", PERVEL
```

CLS

```
G! = 9.8066#
PI! = 3.141592654#
TETA! = TETA! * (PI! / 180)
ALFA! = ALFA! * (PI! / 180)
VO! = CD1 * SQR(2 * G * PS)
VO! = (PERVEL * VO!)
```

5650 CLS

```
VX! = VO! * COS(TETA)
VY! = VO! * COS(TETA)
VZ! = VO! * SIN(TETA)
```

```
WX! = V * COS(ALFA)
WY! = V * SIN(ALFA)
WZ! = 0!
X = 1!: Y = 0!: Z = AHA
```

DT = .001

```
T = 0!: DT2 = DT / 2
TQ = 0!
```

IF TGWN = 1 THEN GOTO 5800

CLS

```
LOCATE 10, 18: PRINT "
LOCATE 11, 18: PRINT "
LOCATE 12, 18: PRINT "
LOCATE 11, 25: PRINT " TAMANHO DE GOTA A SIMULAR = "
LOCATE 11, 56: INPUT "", DIAM
```

```
DIAM = .5
```

```
REM *** ABRINDO ARQUIVO DE DADOS SIMULADOS (*.HIL)
```

```
OPEN "O", 1, D$ + ".HIL"
```

```
FOR I = 1 TO NUGOTAS
```

```
CM! = .4671 * (DIAM ^ -.9859)
```

```
CLS
```

```
LOCATE 15, 17: PRINT "
LOCATE 16, 17: PRINT "
LOCATE 17, 17: PRINT "
LOCATE 16, 20: PRINT "SIMULANDO A DISTANCIA PERCORRIDA PELA GOTA"; DIAM;
```

```
5700 AC! = (AC! * 100)
ZO! = 10 ^ ((.997 * LOG(AC!) / 2.302585) - .883)
DP! = 10 ^ ((.9793 * LOG(AC!) / 2.302585) - 1.536)
ZO! = (ZO! / 100)
DP! = (DP! / 100)
DIFER! = (Z! - DP!)
DIFER2! = (AA! - DP!)
```

```
IF WX! = 0! AND WY! = 0! THEN WX! = 0! AND WY! = 0! AND WZ! = 0!
```

```
IF WX! <> 0! AND WY! <> 0! THEN GOTO 5701
```

```
5701 IF DIFER! <= 0! THEN RW! = 0!
```

```
IF DIFER! > 0! THEN RW! = (LOG(DIFER! / ZO!) / LOG(DIFER2! / ZO!)) AND W
```

```
IF WX = 0! AND WY = 0! THEN
```

```
WX = 0!
```

```
WY = 0!
```

```
WZ = 0!
```

```
ELSE
```

```
IF (Z - DP) <= 0! THEN
```

```
RW! = 0!
```

```
ELSE
```

```
RW# = LOG((Z - DP) / ZO) / LOG((AA - DP) / ZO)
```

```
WX! = WX * RW
```

```
WY! = WY * RW
```

```
WZ! = WZ * RW
```

```
END IF
```

```
END IF
```

```
VXR! = (VX! - WX!)
```

VYR! = (VY! - WY!)

VZR! = (VZ! - WZ!)

VRT! = SQR((VX! - WX!) ^ 2 + (VY! - WY!) ^ 2 + (VZ! - WZ!) ^ 2)

T = T + DT: T1 = T + DT2: T2 = T + DT

KX1! = FNF1(T, VRT!, VXR!, CM!) * DT

KY1! = FNF2(T, VRT!, VYR!, CM!) * DT

KZ1! = FNF3(T, VRT!, VZR!, CM!) * DT

KX2! = FNF1(T1, VRT! + KX1! / 2, VXR! + KY1! / 2, CM!) * DT

KY2! = FNF2(T1, VRT! + KX1! / 2, VYR! + KY1! / 2, CM!) * DT

KZ2! = FNF3(T1, VRT! + KX1! / 2, VZR! + KY1! / 2, CM!) * DT

KX3! = FNF1(T1, VRT! + KX2! / 2, VXR! + KY2! / 2, CM!) * DT

KY3! = FNF2(T1, VRT! + KX2! / 2, VYR! + KY2! / 2, CM!) * DT

KZ3! = FNF3(T1, VRT! + KX2! / 2, VZR! + KY2! / 2, CM!) * DT

KX4! = FNF1(T2, VRT! + KX3!, VXR! + KY3!, CM!) * DT

KY4! = FNF2(T2, VRT! + KX3!, VYR! + KY3!, CM!) * DT

KZ4! = FNF3(T2, VRT! + KX3!, VZR! + KY3!, CM!) * DT

VX! = VX! + (KX1! + 2 * KX2! + 2 * KX3! + KX4!) / 6

VY! = VY! + (KY1! + 2 * KY2! + 2 * KY3! + KY4!) / 6

VZ! = VZ! + (KZ1! + 2 * KZ2! + 2 * KZ3! + KZ4!) / 6

X! = X! + (VX! * DT)

Y! = Y! + (VY! * DT)

Z! = Z! + (VZ! * DT)

TQ = DT + TQ

PRINT #1, DIAM; TQ; X!; Y!; Z!

AC! = (AC! / 100)

IF Z! < AC! THEN GOTO 5750

GOTO 5700

5750

PRINT #1, DIAM; TQ; VX!; VZ!; X!; Z!

CLS

NUVEZES = NUVEZES + 1

IF NUVEZES = NUGOTAS THEN GOTO 5800

CLS

FOR TY = 1 TO 1

BEEP

NEXT TY

LOCATE 10, 18: PRINT "

LOCATE 11, 18: PRINT "

LOCATE 12, 18: PRINT "

LOCATE 11, 25: PRINT " NOVO TAMANHO DE GOTA A SIMULAR = "

LOCATE 11, 59: INPUT "", DIAMDIF

DIAM = DIAMDIF

```

      DJAM = DIAM + .01
      TGWN = 1
      GOTO 5650
5800 NEXT I
      CLOSE 1
      FOR TY = 1 TO 3
          BEEP
      NEXT TY
      CLEAR
      GOTO 5000

```

```

-----
6000 REM TELA DE APRESENTACAO

```

```

      CALL TELAFINAL
      CLS

```

```

-----
SUB TELAFINAL
REM ***** Tela de finalizacao *****

```

```

      CLS
      a$ = "=====
      WHILE INKEY$ <> "": WEND
      MOLE3.MOLDURA$ = STRING$(1, 26)
      MOLE1.MOLDURA$ = STRING$(1, 24)
      MOLE2.MOLDURA$ = STRING$(1, 25)
      WHILE INKEY$ = ""
          LOCATE 8, 15: PRINT "=====
          FOR I = 1 TO 6
              LOCATE 8 + I, 15: PRINT "||"
              LOCATE 8 + I, 65: PRINT "||"
          NEXT I
          LOCATE 15, 15: PRINT "=====
          LOCATE 10, 17: PRINT "      * OBRIGADO POR UTILIZAR ESTE PROGRAMA * "
          LOCATE 13, 17: PRINT "      - TENHA UM BOM DIA -"
          FOR a = 1 TO 5
              LOCATE 1, 1
              PRINT MID$(a$, a, 80);
              LOCATE 22, 1
              PRINT MID$(a$, 6 - a, 80);
              FOR B = 2 TO 21
                  C = (a + B) MOD 5
                  IF C = 1 THEN
                      LOCATE B, 80
                      PRINT MOLE1.MOLDURA$;
                      LOCATE 23 - B, 1
                      PRINT MOLE2.MOLDURA$;
                  ELSE
                      LOCATE B, 80
                      PRINT " ";
                      LOCATE 23 - B, 1

```

```
                PRINT " ";
            END IF
        NEXT B
    NEXT a
WEND
```

END SUB

SUB TELAPRES

REM *** TELA DE APRESENTACAO ***

REM *** Last modified 21st. May, 1986 ***

CLS : SCREEN 2

PSET (0, 0): DRAW "R639 D199 L639 U199"

DRAW "BR4 BD2 R631 D195 L631 U195"

DRAW "BR2 BD1 R627 D193 L627 U193"

DRAW "BR4 BD2 R619 D189 L619 U189"

LOCATE 3, 19: PRINT "SETOR DE AGUA E SOLO - I.P.H. / U.F.R.G.S."

FOR X = 172 TO 464

LINE (X, 85)-(X, 114), X AND 1

NEXT

PSET (13, 36): DRAW "R613 D3 L613 U3"

PSET (13, 154): DRAW "R613 D3 L613 U3"

LOCATE 12, 22: PRINT "

LOCATE 13, 22: PRINT " IPH-UNI - v 1.0 - SIMGOTA "

LOCATE 14, 22: PRINT "

PSET (168, 82): DRAW "R300 D35 L300 U35"

DRAW "BR2 BD1 R296 D33 L296 U33"

LOCATE 22, 24: PRINT "C": CIRCLE (187, 171), 12

LOCATE 22, 28: PRINT "Guilherme Xavier de Miranda Junior"

LOCATE 23, 34: PRINT "Engenheiro Agronomo"

DO

LOOP WHILE INKEY\$ = ""

SCREEN 0

END SUB

```

DECLARE SUB TELAFINAL ( )
DECLARE SUB TELAPRES ( )
DEF FNF1 (T!, VRT!, VXR!, CM!) = -CM! * VRT! * VXR!
DEF FNF2 (T!, VRT!, VYR!, CM!) = -CM! * VRT! * VYR!
DEF FNF3 (T!, VRT!, VZR!, CM!) = -CM! * VRT! * VZR! - 9.8066

```

```

*****
***
***
***          PROGRAMA DE SIMULACAO DE DISTRIBUICAO DE AGUA
***
***          DE ASPERSORES DE IRRIGACAO
***
***          INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRAULICAS - IPH / UFRGS
***
***          DITAGO.BAS
***
*** Desenvolvido por:
***
***          GUILHERME XAVIER DE MIRANDA JUNIOR
***          Eng. Agronomo
***          CREA - S1 - 30805 - 9
***
*****

```

REM TELA DE APRESENTACAO

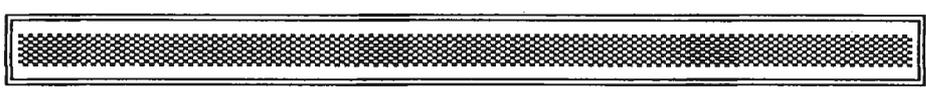
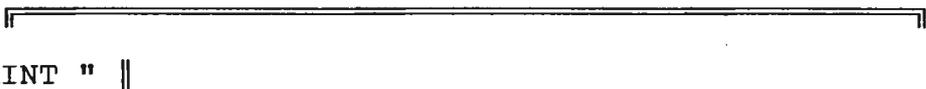
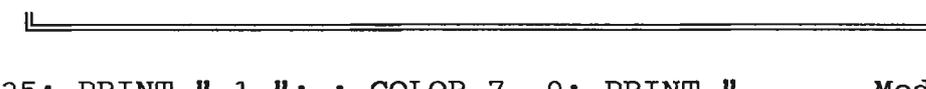
CALL TELAPRES

```

5000 REM ***          SIMULACAO DE DADOS DE PRECIPITACAO          ***
REM *** A PARTIR DAS CARACTERISTICAS OPERACIONAIS DE ASPERSOR ***

```

```

CLEAR
CLS
LOCATE 1, 18: PRINT "  "
LOCATE 2, 18: PRINT "  "
LOCATE 3, 18: PRINT "  "
LOCATE 2, 24: PRINT " MENU PARA A ESCOLHA DA SIMULACAO "
LOCATE 6, 18: PRINT "  "
FOR I = 1 TO 10
  LOCATE I + 6, 18: PRINT " ||
NEXT I
LOCATE 16, 18: PRINT "  "

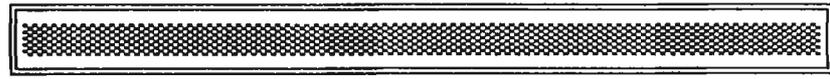
```

```

COLOR 0, 7: LOCATE 8, 25: PRINT " 1 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Modelo
COLOR 0, 7: LOCATE 11, 25: PRINT " 2 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Modelo
COLOR 0, 7: LOCATE 14, 25: PRINT " 3 "; : COLOR 7, 0: PRINT " .... Return

```

```

LOCATE 21, 20: PRINT "  "
LOCATE 22, 20: PRINT "  "
LOCATE 23, 20: PRINT "  "
LOCATE 22, 30: PRINT " FACA SUA ESCOLHA = ____ "
LOCATE 22, 52: INPUT "", OKW$

```

```

IF OKW$ = "1" THEN GOTO 5300
IF OKW$ = "2" THEN GOTO 5600

```

```
IF OKW$ = "3" THEN GOTO 6000
IF OKW$ <> "1" OR OKW$ <> "2" OR OKW$ <> "3" THEN GOTO 5000
```

```
REM ***** SUB-ROTINA PARA O CALCULO DO METODO DE RUNGE-KUTTA *****
```

```
REM *** A funcao que sera calculada e': d2x/dt2 = - C2 * Vr* ( Vx - Wx )
REM *** A funcao que sera calculada e': d2y/dt2 = - C2 * Vr* ( Vy - Wx )
REM *** A funcao que sera calculada e': d2z/dt2 = - C2 * Vr* ( Vz - Wx )
```

```
5300 REM *** METODO ADOTADO POR FUKUI (1980) PARA O CALCULO ***
REM *** DO COEFICIENTE DE ARRASTE DA GOTA ***
REM *** SIMULACAO PARA O BOCAL PRINCIPAL DO ASPERSOR ***
```

```
REM *** LEITURA DE DADOS EM ARQUIVO ***
CLS
```

```
LOCATE 10, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 18: PRINT " "
LOCATE 12, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 24: PRINT " NOME DO ARQUIVO DE DADOS = _____ "
LOCATE 11, 52: INPUT "", D$
OPEN "I", 1, D$ + ".LAM!"
INPUT #1, PS, QS, BPR, BSEC, AHA, TETA, CD1, CD2, TEMPO, V, AA, ALFA, TBS,
```

```
XX = 2 * NUMCOL
DIM RAI(XX), LAM!(XX)
FOR I = 1 TO NUMCOL
    INPUT #1, RAI(I), LAM!(I)
NEXT I: CLOSE 1
```

```
CLS
LOCATE 10, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 18: PRINT " "
LOCATE 12, 18: PRINT " "
LOCATE 11, 25: PRINT " NUMERO DE GOTAS A SIMULAR = _____ "
LOCATE 11, 56: INPUT "", NUGOTAS
```

```
CLS
LOCATE 10, 15: PRINT " "
LOCATE 11, 15: PRINT " "
LOCATE 12, 15: PRINT " "
LOCATE 11, 22: PRINT " PERCENTAGEM DA VELOC.INICIAL(-) _____ "
LOCATE 11, 57: INPUT "", PERVEL
```

```
CLS
G! = 9.8066#
PI! = 3.141592654#
TETA! = TETA! * (PI! / 180)
ALFA! = ALFA! * (PI! / 180)
VO! = CD1 * SQR(2 * G! * PS)
VO! = (PERVEL * VO!)
```

```
VISC! = 1.3045E-05 + 1.222E-07 * TBS - 9.6471E-10 * (TBS ^ 2) + 7.2873E-12
```

```

5350 CLS
VX! = VO! * COS(TETA!)
VY! = VO! * COS(TETA!)
VZ! = VO! * SIN(TETA!)

WX! = V! * COS(ALFA!)
WY! = V! * SIN(ALFA!)
WZ! = 0!
X = 1!: Y = 1!: Z = AHA!

DT! = .001

T = 0!: DT2! = DT! / 2
TQ = 0!

IF TGWN = 1 THEN GOTO 5500

```

```

CLS
LOCATE 10, 18: PRINT "
LOCATE 11, 18: PRINT "
LOCATE 12, 18: PRINT "
LOCATE 11, 25: PRINT " TAMANHO DE GOTA A SIMULAR. = "
LOCATE 11, 56: INPUT "", DIAM

```

```

REM *** ABRINDO ARQUIVO DE DADOS SIMULADOS (*.FUK)

```

```

OPEN "O", 1, D$ + ".FUK"

```

```

FOR I = 1 TO NUGOTAS

```

```

CLS
LOCATE 15, 17: PRINT "
LOCATE 16, 17: PRINT "
LOCATE 17, 17: PRINT "
LOCATE 16, 20: PRINT "SIMULANDO A DISTANCIA PERCORRIDA PELA GOTA "; DIAM

```

```

5400 IF AC! = 0! THEN GOTO 5401
IF AC! > 0! THEN GOTO 5402

```

```

5401 ZO! = 0!
DP! = 0!
DIFER! = (Z! - DP!)
DIFER2! = (AA! - DP!)
GOTO 5403

```

```

5402 AC! = (AC! * 100)
ZO! = 10 ^ ((.997 * LOG(AC!) / 2.302585) - .883)
DP! = 10 ^ ((.9793 * LOG(AC!) / 2.302585) - 1.536)
ZO! = (ZO! / 100)
DP! = (DP! / 100)
DIFER! = (Z! - DP!)
DIFER2! = (AA! - DP!)
GOTO 5403

```

```

5403

```

VY! = VY! + (KY1! + 2 * KY2! + 2 * KY3! + KY4!) / 6
VZ! = VZ! + (KZ1! + 2 * KZ2! + 2 * KZ3! + KZ4!) / 6

X! = X! + (VX! * DT!)
Y! = Y! + (VY! * DT!)
Z! = Z! + (VZ! * DT!)
TQ! = DT! + TQ!

PRINT DIAM; TQ; VX!; VZ!; X!; Y!; Z!

AC! = (AC! / 100)
IF Z! < AC! THEN GOTO 5450
GOTO 5400

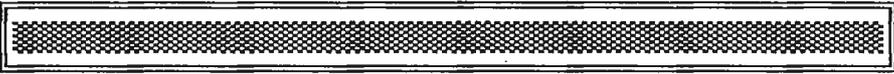
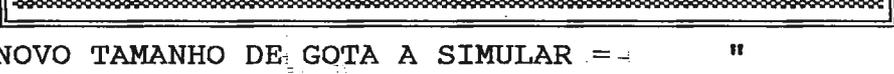
5450

XREAL! = (.038 * (.774 ^ X!) * (X! ^ 3.813))

PRINT #1, DIAM; TQ; QS!; X!; XREAL!

CLS
NUVEZES = NUVEZES + 1
IF NUVEZES = NUGOTAS THEN GOTO 5500

CLS
FOR TY = 1 TO 1
BEEP
NEXT TY

CLS
LOCATE 10, 18: PRINT "  "
LOCATE 11, 18: PRINT "  "
LOCATE 12, 18: PRINT "  "
LOCATE 11, 25: PRINT " NOVO TAMANHO DE GOTA A SIMULAR = " "
LOCATE 11, 59: INPUT "", DIAMDIF
DIAM = DIAMDIF

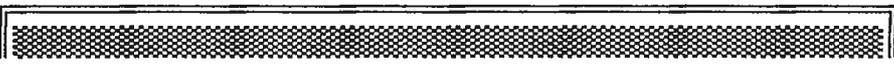
DIAM = DIAM + .01

TGWN = 1
GOTO 5350

5500 NEXT I
CLOSE 1
FOR TY = 1 TO 3
BEEP
NEXT TY
CLEAR
GOTO 5000

5600 REM *** METODO ADOTADO POR HILLS (1989) PARA O CALCULO ***
REM *** DO COEFICIENTE DE ARRASTE DA GOTA ***
REM *** SIMULACAO PARA O BOCAL PRINCIPAL DO ASPERSOR ***

REM *** LEITURA DE DADOS EM ARQUIVO ***
CLS

LOCATE 10, 18: PRINT "  "
LOCATE 11, 18: PRINT "  "

IF WX! = 0! AND WY! = 0! THEN GOTO 5405
IF WX! <> 0! AND WY! <> 0! THEN GOTO 5404

5404 IF DIFER! <= 0! THEN GOTO 5406
IF DIFER! > 0! THEN GOTO 5407

5405 WXW! = 0!
WYW! = 0!
WZW! = 0!
GOTO 5410

5406 RW! = 0!
WXW! = WX! * RW!
WYW! = WY! * RW!
WZW! = WZ! * RW!
GOTO 5410

5407 RW! = ((LOG(DIFER! / ZO!)) / (LOG(DIFER2! / ZO!)))
WXW! = WX! * RW!
WYW! = WY! * RW!
WZW! = WZ! * RW!
GOTO 5410

5410 VXR! = (VX! - WXW!)
VYR! = (VY! - WYW!)
VZR! = (VZ! - WZW!)

VRT! = (SQR((VXR ^ 2) + (VYR ^ 2) + (VZR! ^ 2)))

REY! = (VRT! * (DIAM / 1000)) / VISC!

IF REY! <= 100 THEN CD! = (33.3 / REY! - .0033 * REY! + 1.2)
IF REY! > 100 OR REY! <= 1000 THEN CD! = (72.2 / REY! - .0000556 * REY!)
IF REY! > 1000 THEN CD! = .45

ARE! = (DIAM * 1.109)

CM! = (CD! / ARE!)

T! = T! + DT!: T1! = T! + DT2!: T2! = T! + DT!

KX1! = FNF1(T!, VRT!, VXR!, CM!) * DT!
KY1! = FNF2(T!, VRT!, VYR!, CM!) * DT!
KZ1! = FNF3(T!, VRT!, VZR!, CM!) * DT!

KX2! = FNF1(T1!, VRT! + KX1! / 2, VXR! + KY1! / 2, CM!) * DT!
KY2! = FNF2(T1!, VRT! + KX1! / 2, VYR! + KY1! / 2, CM!) * DT!
KZ2! = FNF3(T1!, VRT! + KX1! / 2, VZR! + KY1! / 2, CM!) * DT!

KX3! = FNF1(T1!, VRT! + KX2! / 2, VXR! + KY2! / 2, CM!) * DT!
KY3! = FNF2(T1!, VRT! + KX2! / 2, VYR! + KY2! / 2, CM!) * DT!
KZ3! = FNF3(T1!, VRT! + KX2! / 2, VZR! + KY2! / 2, CM!) * DT!

KX4! = FNF1(T2!, VRT! + KX3!, VXR! + KY3!, CM!) * DT!
KY4! = FNF2(T2!, VRT! + KX3!, VYR! + KY3!, CM!) * DT!
KZ4! = FNF3(T2!, VRT! + KX3!, VZR! + KY3!, CM!) * DT!

VX! = VX! + (KX1! + 2 * KX2! + 2 * KX3! + KX4!) / 6

```
LOCATE 12, 18: PRINT " _____"
LOCATE 11, 24: PRINT " NOME DO ARQUIVO DE DADOS = _____ "
LOCATE 11, 52: INPUT "", D$
OPEN "I", 1, D$ + ".LAM!"
INPUT #1, PS, QS, BPR, BSEC, AHA, TETA, CD1, CD2, TEMPO, V, AA, ALFA, TBS,
```

```
XX = 2 * NUMCOL
DIM RAI(XX), LAM!(XX)
FOR I = 1 TO NUMCOL
    INPUT #1, RAI(I), LAM!(I)
NEXT I: CLOSE 1
```

```
CLS
LOCATE 10, 18: PRINT " _____"
LOCATE 11, 18: PRINT " _____"
LOCATE 12, 18: PRINT " _____"
LOCATE 11, 25: PRINT " NUMERO DE GOTAS A SIMULAR = _____ "
LOCATE 11, 56: INPUT "", NUGOTAS
```

```
CLS
LOCATE 10, 15: PRINT " _____"
LOCATE 11, 15: PRINT " _____"
LOCATE 12, 15: PRINT " _____"
LOCATE 11, 22: PRINT " PERCENTAGEM DA VELOC.INICIAL(-) _____ "
LOCATE 11, 57: INPUT "", PERVEL
```

```
CLS
G! = 9.8066#
PI! = 3.141592654#
TETA! = TETA! * (PI! / 180)
ALFA! = ALFA! * (PI! / 180)
VO! = CD1 * SQR(2 * G * PS)
VO! = (PERVEL * VO!)
```

```
5650 CLS
VX! = VO! * COS(TETA)
VY! = VO! * COS(TETA)
VZ! = VO! * SIN(TETA)

WX! = V! * COS(ALFA)
WY! = V! * SIN(ALFA)
WZ! = 0!
X! = 1!: Y! = 1!: Z! = AHA!
```

```
DT = .001
```

```
T = 0!: DT2 = DT / 2
TQ = 0!
```

```
IF TGWN = 1 THEN GOTO 5800
```

```
CLS
LOCATE 10, 18: PRINT " _____"
LOCATE 11, 18: PRINT " _____"
LOCATE 12, 18: PRINT " _____"
LOCATE 11, 25: PRINT " TAMANHO DE GOTA A SIMULAR = _____ "
LOCATE 11, 56: INPUT "", DIAM
```

```
CLS
LOCATE 10, 18: PRINT " _____"
```


GOTO 5710

5707 RW! = ((LOG(DIFER! / ZO!)) / (LOG(DIFER2! / ZO!)))
WXW! = WX! * RW!
WYW! = WY! * RW!
WZW! = WZ! * RW!
GOTO 5710

5710

VXR! = (VX! - WXW!)
VYR! = (VY! - WYW!)
VZR! = (VZ! - WZW!)

VRT! = SQR((VX! - WX!) ^ 2 + (VY! - WY!) ^ 2 + (VZ! - WZ!) ^ 2)

T = T + DT: T1 = T + DT2: T2 = T + DT

KX1! = FNF1(T, VRT!, VXR!, CM!) * DT
KY1! = FNF2(T, VRT!, VYR!, CM!) * DT
KZ1! = FNF3(T, VRT!, VZR!, CM!) * DT

KX2! = FNF1(T1, VRT! + KX1! / 2, VXR! + KY1! / 2, CM!) * DT
KY2! = FNF2(T1, VRT! + KX1! / 2, VYR! + KY1! / 2, CM!) * DT
KZ2! = FNF3(T1, VRT! + KX1! / 2, VZR! + KY1! / 2, CM!) * DT

KX3! = FNF1(T1, VRT! + KX2! / 2, VXR! + KY2! / 2, CM!) * DT
KY3! = FNF2(T1, VRT! + KX2! / 2, VYR! + KY2! / 2, CM!) * DT
KZ3! = FNF3(T1, VRT! + KX2! / 2, VZR! + KY2! / 2, CM!) * DT

KX4! = FNF1(T2, VRT! + KX3!, VXR! + KY3!, CM!) * DT
KY4! = FNF2(T2, VRT! + KX3!, VYR! + KY3!, CM!) * DT
KZ4! = FNF3(T2, VRT! + KX3!, VZR! + KY3!, CM!) * DT

VX! = VX! + (KX1! + 2 * KX2! + 2 * KX3! + KX4!) / 6
VY! = VY! + (KY1! + 2 * KY2! + 2 * KY3! + KY4!) / 6
VZ! = VZ! + (KZ1! + 2 * KZ2! + 2 * KZ3! + KZ4!) / 6

X! = X! + (VX! * DT)
Y! = Y! + (VY! * DT)
Z! = Z! + (VZ! * DT)
TQ = DT + TQ

PRINT DIAM; TQ; VXR!; VZR!; VRT!; X!; Y!; Z!

AC! = (AC! / 100)

IF Z! < AC! THEN GOTO 5750
GOTO 5700

5750

PRINT #1, X!; XREAL!
CLS
XREAL = XREAL + 2
NUVEZES = NUVEZES + 1
IF NUVEZES = NUGOTAS THEN GOTO 5800

```

CLS
FOR TY = 1 TO 1
  BEEP
NEXT TY
CLS
LOCATE 10, 18: PRINT "
LOCATE 11, 18: PRINT "
LOCATE 12, 18: PRINT "
LOCATE 11, 25: PRINT " NOVO TAMANHO DE GOTA A SIMULAR = "
LOCATE 11, 59: INPUT "", DIAMDIF
DIAM = DIAMDIF

```

```
DIAM = DIAM + .01
```

```
TGWN = 1
GOTO 5650
```

```

)0 NEXT I
CLOSE 1
FOR TY = 1 TO 3
  BEEP
NEXT TY
CLEAR
GOTO 5000

```

```

)0 REM TELA DE APRESENTACAO

```

```

CALL TELAFINAL
CLS

```

```

)B TELAFINAL
)M ***** Tela de finalizacao *****

```

```

CLS
a$ = "
WHILE INKEY$ <> "": WEND
MOLE3.MOLDURA$ = STRING$(1, 26)
MOLE1.MOLDURA$ = STRING$(1, 24)
MOLE2.MOLDURA$ = STRING$(1, 25)
WHILE INKEY$ = ""
LOCATE 8, 15: PRINT "
FOR I = 1 TO 6
LOCATE 8 + I, 15: PRINT "||"
LOCATE 8 + I, 65: PRINT "||"
NEXT I
LOCATE 15, 15: PRINT "
LOCATE 10, 17: PRINT " * OBRIGADO POR UTILIZAR ESTE PROGRAMA * "
LOCATE 13, 17: PRINT " - TENHA UM BOM DIA -"
FOR a = 1 TO 5
LOCATE 1, 1
PRINT MID$(a$, a, 80);
LOCATE 22, 1
PRINT MID$(a$, 6 - a, 80);
FOR B = 2 TO 21
C = (a + B) MOD 5
IF C = 1 THEN

```

```

        LOCATE B, 80
        PRINT MOLE1.MOLDURA$;
        LOCATE 23 - B, 1
        PRINT MOLE2.MOLDURA$;
    ELSE
        LOCATE B, 80
        PRINT " ";
        LOCATE 23 - B, 1
        PRINT " ";
    END IF
NEXT B
NEXT a
WEND

```

END SUB

SUB TELAPRES

REM *** TELA DE APRESENTACAO ***

REM *** Last modified 21st. May, 1986 ***

CLS : SCREEN 2

PSET (0, 0): DRAW "R639 D199 L639 U199"

DRAW "BR4 BD2 R631 D195 L631 U195"

DRAW "BR2 BD1 R627 D193 L627 U193"

DRAW "BR4 BD2 R619 D189 L619 U189"

LOCATE 3, 19: PRINT "SETOR DE AGUA E SOLO - I.P.H. / U.F.R.G.S."

FOR X = 172 TO 464

 LINE (X, 85)-(X, 114), X AND 1

NEXT

PSET (13, 36): DRAW "R613 D3 L613 U3"

PSET (13, 154): DRAW "R613 D3 L613 U3"

LOCATE 12, 22: PRINT " "

"

LOCATE 13, 22: PRINT " IPH-UNI - v 1.0 - SIMGOTA3

"

LOCATE 14, 22: PRINT " "

"

PSET (168, 82): DRAW "R300 D35 L300 U35"

DRAW "BR2 BD1 R296 D33 L296 U33"

LOCATE 22, 24: PRINT "C": CIRCLE (187, 171), 12

LOCATE 22, 28: PRINT "Guilherme Xavier de Miranda Junior"

LOCATE 23, 34: PRINT "Engenheiro Agronomo"

DO

LOOP WHILE INKEY\$ = ""

SCREEN 0

END SUB

5455

```
'PRINT I; RAI(I); YYRAI!; WYRAI!; XREAL!(I); LAMN!(I); LAMV!; LAMO!(I)
'INPUT HJG$
```

```
IF LAMN!(I) > LAMV! THEN GOTO 5456
```

```
IF LAMN!(I) < LAMV! THEN GOTO 5458
```

5456

```
'PRINT I; RAI(I); YYRAI!; WYRAI!; XREAL!(I); LAMN!(I); LAMV!; LAMO!(I)
'INPUT HJG$
```

```
LAMO!(I) = LAMV! + ((WYRAI! - YYRAI!) * (LAMN!(I) - LAMV!)) / (XREAL!
```

```
RAIO! = RAI(I - 1)
```

```
PRINT #1, XREAL!(I); LAMN!(I); YYRAI!; LAMV!; RAIO!; LAMO!(I)
```

```
PRINT #1, RAIO!; LAMO!(I)
```

```
WYRAI! = RAI(I)
```

```
YYRAI! = XREAL!(I)
```

```
LAMV! = LAMN!(I)
```

```
'PRINT I; RAI(I); YYRAI!; WYRAI!; XREAL!(I); LAMN!(I); LAMV!; LAMO!(I)
'INPUT HJG$
```

```
GOTO 5465
```

5458

```
LAMO!(I) = LAMN!(I) + ((WYRAI! - YYRAI!) * (LAMV! - LAMN!(I))) / (XRE
```

```
RAIO! = RAI(I - 1)
```

```
PRINT #1, XREAL!(I); LAMN!(I); YYRAI!; LAMV!; RAIO!; LAMO!(I)
```

```
PRINT #1, RAIO!; LAMO!(I)
```

```
WYRAI! = RAI(I)
```

```
YYRAI! = XREAL!(I)
```

```
LAMV! = LAMN!(I)
```

```
'PRINT I; RAI(I); YYRAI!; WYRAI!; XREAL!(I); LAMN!(I); LAMV!; LAMO!(I)
'INPUT HJG$
```

```
GOTO 5465
```

5460

```
WYRAI! = RAI(I)
```

```
YYRAI! = XREAL!(I)
```

```
LAMV! = LAMN!(I)
```

```
LAMO!(I) = 0
```

```
GOTO 5465
```

```
'PRINT I; RAI(I); YYRAI!; WYRAI!; XREAL!(I); LAMN!(I); LAMV!; LAMO!(I)
'INPUT HJG$
```

5465 LOOP

```
CLOSE 1
```

```
CLS
```

```
PRINT "TERMINEI"
```

```
FOR GF = 1 TO 3
```

```
BEEP
```

```
NEXT GF
```

```
GOTO 100
```