

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
UNICAMP  
Faculdade de Engenharia de Alimentos e  
Agrícola

PROJETO DE UM GERADOR DE GOTAS  
TIPO MICRONAIR PARA OS  
ATOMIZADORES COSTAIS MOTORIZADOS

LAUREANO GUERRERO JIMÉNEZ

Orientador: Prof.Dr.OSCAR A. BRAUNBECK

Tese apresentada à Faculdade  
de Engenharia de Alimentos e  
Agrícola da Universidade Es  
tadual de Campinas, para ob  
tenção do título de MESTRE EM  
ENGENHARIA AGRÍCOLA.

*16/04/74*  
*JIMÉNEZ*

À minha filha,  
Diana Paola

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, em especial à Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, pela oportunidade oferecida para realizar a especialização na área de Mecanização Agrícola;

Ao Instituto Colombiano Agropecuário - ICA, pelo patrocínio dos estudos ora em conclusão;

Ao Instituto Agrônômico de Campinas - IAC, pela cessão do laboratório de Máquinas de Aplicação de Defensivos;

Ao Prof. Dr. Oscar Antonio Braunbeck, pela valiosa orientação, motivação e ensinamentos durante a pesquisa;

Ao Prof. Dr. Inácio M. Dal Fabbro, incentivador e colaborador deste trabalho;

Ao Pesquisador Hermes Geraldo Correa e sua equipe humana da SMICAD, pela importante contribuição na avaliação do protótipo;

Aos autores das publicações utilizadas nesta pesquisa;

Aos meus pais, pelo apoio que me têm dado;

À minha esposa, Maria Stella, pela sua compreensão e apoio;

Ao Desenhista Francisco, pelos desenhos do protótipo;

Ao Técnico-Mecânico Edson Ap. Gil Neto, pela sua colaboração na construção do protótipo;

À Sra. M. Júlia Dini Fray, pela execução do trabalho de datilografia;

Aos Professores, colegas e amigos que, nas discussões do dia a dia, contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

## ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. JUSTIFICATIVA .....	3
3. OBJETIVOS .....	6
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	8
4.1 - Classificação das Aplicações de Agroquímicos .....	9
4.2 - Modos de Formação de uma Aplicação com geradores rotativos de gotas .....	9
4.3 - Formação de gotas a partir de um ligamento .....	12
4.4 - Análise dimensional dos ligamentos .....	12
4.5 - Tamanho das gotas .....	19
4.6 - Tipos de diâmetros das gotas .....	20
4.7 - Sistemas produtores de gotas .....	22
4.8 - Fator de Espalhamento ou Expansão das gotas .....	23
4.9 - Trajetória das gotas .....	24
4.10- Dinâmica da corrente de ar na atmosfera .....	32
4.11- Rompimento de uma gota numa corrente de ar .....	38
4.12- Utilização de Traçadores .....	40
4.13- Tipos de Amostras para a medição das gotas .....	42
4.14- Superfícies coletoras de gotas .....	43
5. METODOLOGIA .....	45
5.1 - Dimensionamento do Gerador de gotas .....	46
5.2 - Técnicas de Avaliação .....	54
6. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....	61
6.1 - Materiais .....	62
6.2 - Equipamentos .....	63

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	65
7.1 - Velocidade atingida pelo Gerador de gotas .....	66
7.2 - Fator de Espalhamento .....	69
7.3 - Tamanho das gotículas .....	74
7.4 - Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> ) .....	84
7.5 - Análise da variância para o diâmetro volumétrico médio .....	87
8. CONCLUSÕES .....	88
9. RESUMO .....	90
10. SUMMARY .....	91
11. BIBLIOGRAFIA .....	92
12. APÊNDICES	
Apêndice I : Desenhos do Conjunto para montagem e dos detalhes para construção do protótipo .....	93
Apêndice II : Parâmetros característicos dos espectros de gotas dos tratamentos .....	11
Apêndice III: Curvas de volume e população para os tratamentos com distâncias de amostragem de 6 m .....	12
Apêndice IV : Tabelas das análises de variância do diâmetro volumétrico médio .....	14

- 1 -

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

- 4 -

A necessidade cada vez maior do uso de pesticidas como fator importante para a evolução e progresso da agricultura, tem originado nos últimos anos o desenvolvimento de novas técnicas de aplicação. Dentro destas, são bem conhecidas as denominadas aplicações a baixo e ultra-baixo volume (b.v., u.b.v.), que se caracterizam pela sua eficácia e economia, mas que também requerem produtos e equipamentos concebidos especificamente para tal fim. Grandes avanços se tem obtida nas aplicações aéreas a ultra-baixo volume, com o uso dos denominados MICRONAIR e MICRON-ULVA, aplicadores rotativos que geram gotas de tamanho relativamente uniforme, comparadas com as produzidas pelos bicos de pressão, melhorando assim a eficiência das aplicações ao diminuir a dificuldade no controle da trajetória das gotas, causada pela desuniformidade de tamanhos.

Foi dentro deste marco de referência que se pretendeu enquadrar o presente projeto, buscando viabilizar o uso do princípio de funcionamento dos dois mais modernos equipamentos de aplicação aérea de agroquímicos, para desenvolver um gerador de gotas para os atomizadores costais motorizados, procurando corrigir o seu problema atual de alta desuniformidade no tamanho das gotas.

CAPÍTULO 2

JUSTIFICATIVA

- 4 -

O fim de todos os métodos e sistemas de aplicação de pesticidas é a distribuição ótima (uniforme) de uma substância ativa sobre um objetivo (fitoparasita, planta ou solo).

Ainda que na maioria dos casos a quantidade de substância ativa necessária por unidade de superfície flutua ao redor de poucos centos de gramas por hectare, é técnica e praticamente difícil obter uma distribuição adequada de quantidades tão pequenas, sem recorrer a meios de diluição. O meio mais usado é a água, sendo a gota o veículo mais comum para levar a substância ativa até o objetivo desejado. O estudo das características da gota é portanto um fator decisivo no projeto e avaliação de equipamentos de aplicação de pesticidas.

Para Boize e Dombrowski [3], se bem que vários tipos de atomizadores rotativos são atualmente empregados na agricultura, é pouca a informação existente sobre as suas características de produção de gotas. Geralmente o operador do equipamento não dispõe de informação suficiente para prever o efeito que sobre as gotas produz uma alteração da taxa de fluxo, da velocidade de rotação ou das propriedades do líquido. Uma das razões para que se apresente este fato é o número e tipo de fatores que participam na produção das gotas, fazendo o fenômeno complexo.

Em aplicadores rotativos, em geral, o tamanho das gotas depende dos seguintes fatores: tipo de aplicador, tamanho do restritor (orifício) selecionado, velocidade de aplicação, velocidade de rotação, posição respeito ao fluxo de ar, propriedades físicas do produto aplicado (viscosidade, densidade, tensão superficial) e condições ambientais (velocidade do vento, umidade relativa e temperatura).

De acordo com Hewitt [15], o fato de aplicar gotas pequenas e uniformes permite uma melhor densidade de cobertura (número de gotas/cm<sup>2</sup>) com um menor volume de aplicação, obtendo-se efeitos tanto ecológicos como econômicos favoráveis.

qual, além do uso de princípios básicos da aplicação de agroquímicos, que se descrevem na bibliografia, foi preciso o estudo de algumas características do equipamento convencional a fim de aperfeiçoar as bases para o cálculo do gerador rotativo.

CAPÍTULO 3

OBJETIVOS

### 3.1 - GERAIS:

Estudar a hipótese de melhorar o tipo de aplicação dos otimizadores costais motorizados mediante o desenvolvimento e avaliação de um gerador de gotas tipo micronair para estes equipamentos.

### 3.2 - ESPECÍFICOS:

- Reduzir a desuniformidade no tamanho das gotas.
- Melhorar a cobertura (gotas/cm<sup>2</sup>) ao produzir gotículas menores.

CAPÍTULO 4

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 4.1 - CLASSIFICAÇÃO DAS APLICAÇÕES DE AGROQUÍMICOS

Ainda que não exista uniformidade de critério em relação ao volume de água que determina um sistema ou tipo de aplicação de agroquímicos, uma idéia geral a respeito é fornecida por Hewitt [15], na Tabela 1.

Tabela 1 - Definição do objetivo em relação ao volume aplicado (litros) e ao tamanho das gotas (D.V.M.)

TIPO DE APLICAÇÃO	INSETOS		ERVAS DANINHAS		FUNGOS	
	V	DVM	V	DVM	V	DVM
U.B.V.	0.5 - 5.0	90 - 150	-	-	-	-
B.V.	20 - 75	200 - 400	20 - 75	300 - 500	20 - 75	200 - 400
A.V.	75 e mais	200 - 400	75 e mais	300 - 500	75 e mais	200 - 400

U.B.V. = ultra baixo volume

B.V. = baixo volume

A.V. = alto volume

V = volume (litros)

D.V.M. = diâmetro volumétrico médio

#### 4.2 - MODOS DE FORMAÇÃO DE UMA APLICAÇÃO COM GERADORES ROTATIVOS DE GOTAS

Devido a que os atomizadores rotativos pressurizados acharam pouco sucesso e que os pequenos bicos de pressão, além de difíceis de construir, com precisão, produzem gotas muito desuniformes, os pesquisadores forçaram seus esforços nos atomizadores rotativos sem pressão ou com baixa pressão.

Segundo Frost [9], com geradores rotativos de gotas (discos, malhas, teclas), há três maneiras, identificadas por Hinze e Milborn, para produzir uma aplicação.

- Formação direta de gotas a partir do borda do disco ou da malha rotativa, Figura 1; são obtidas com baixo fluxo e baixa velocidade.

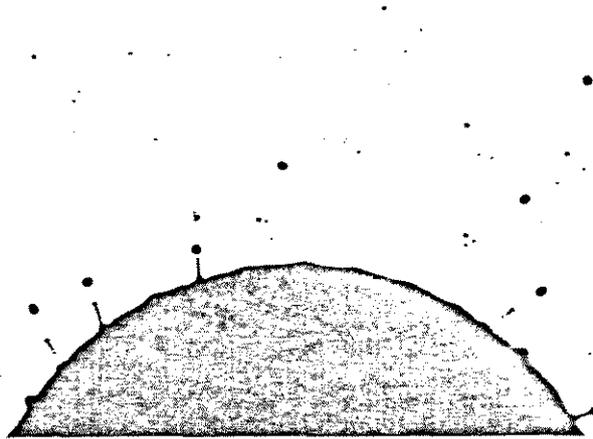


Fig. Nº 1 : Formação direta de gotas

- Formação de ligamentos a partir do borda, Figura 2; são gerados aumentando o fluxo e a velocidade de rotação.

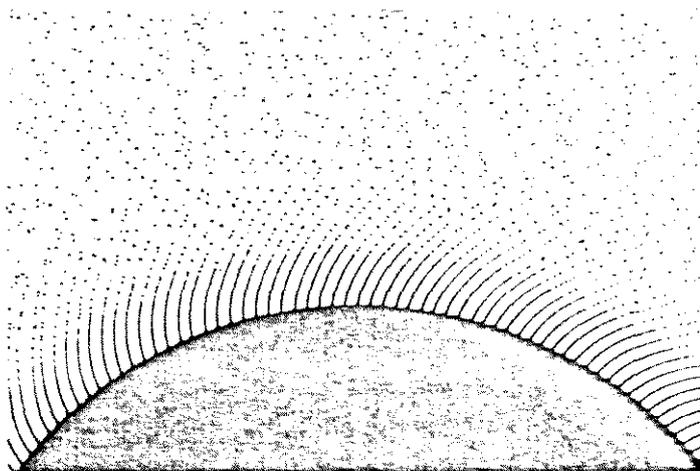


Fig. Nº 2 : Formação de Ligamentos

- 11 -
- Formação de películas ou mantos ao redor do borda, Figura 3; são produzidos por altos fluxos e baixa pressão.

Igualmente, apresentam-se as fases de transição entre os três modos descritos como, por exemplo, transição entre ligamentos e formação de mantos, Figura 4.

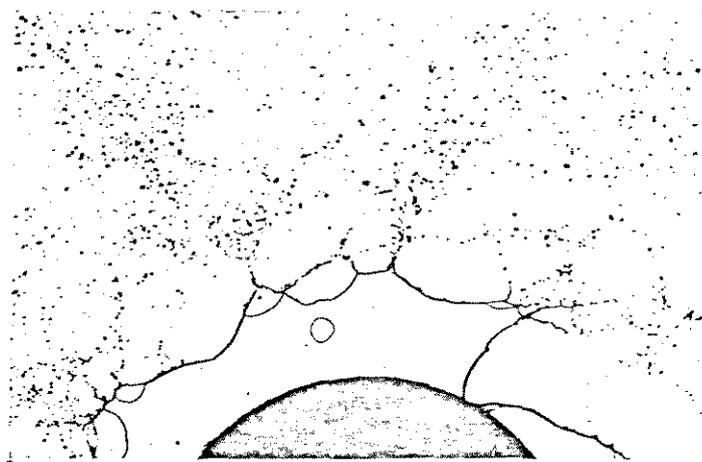
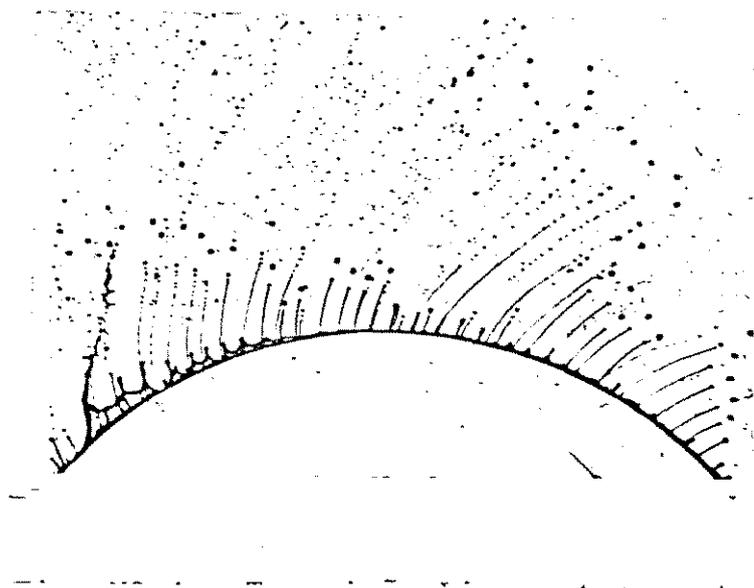


Fig. Nº 3 : Formação de mantos



A formação de ligamentos é considerada a mais adequada para a aplicação de agroquímicos por produzir gotas dentro de um intervalo estreito de diâmetro.

#### 4.3 - FORMAÇÃO DE GOTAS A PARTIR DE UM LIGAMENTO

Raleigh, mencionado por Frost e Yates [12] observou que pequenos ligamentos se fazem inestáveis quando são submetidos a uma perturbação, cujo valor de comprimento de onda seja próximo ao valor da circunferência do ligamento. Um aumento no comprimento de onda da perturbação produz o rompimento do ligamento formando gotas.

Analiticamente, achou que o maior grau de instabilidade se obtém quando o comprimento de onda da perturbação é 4.51 vezes o diâmetro do ligamento. Este dado foi comprovado experimentalmente, mais tarde, por Tyler. Em muitas ocasiões atuam ao mesmo tempo várias perturbações e o rompimento do ligamento nem sempre é ocasionado pelas que apresentam comprimentos de onda mais favoráveis. Pode acontecer que atue primeiro uma perturbação que tem comprimento de onda menos favorável, mas que é suficientemente forte para romper o ligamento.

Quando os ligamentos estão submetidos ao efeito de uma corrente de ar, a qual deve transportar as gotas produzidas, é importante que eles sejam suficientemente curtos para minimizar o efeito das forças aerodinâmicas que produzem a "deriva" das gotas.

#### 4.4 - ANÁLISE DIMENSIONAL DOS LIGAMENTOS

Frost [9], trabalhando com discos rotativos, pesquisou o critério para a formação de ligamentos e estabeleceu re

les. Assumindo que todas as gotas produzidas por um ligamento são iguais, o volume de uma delas estará dado por:

$$V_g = q/f$$

como  $q = Q/n$

então  $V_g = Q/nf$

onde:  $V_g =$  volume da gota

$q =$  taxa de fluxo ao longo de um ligamento

$Q =$  taxa de fluxo total

$n =$  número de ligamentos no borda do rotor

$f =$  frequência de formação de gotas num ligamento  
gotas/seg.

Para a análise dimensional de  $n$ ,  $f$  e os critérios de formação de ligamentos e gotas foram estudadas as seguintes variáveis: velocidade angular  $\omega$ , diâmetro do rotor  $D$ , taxa de fluxo total  $Q$ , viscosidade do líquido  $\mu$ , densidade do líquido  $\rho$  e tensão superficial do líquido  $\sigma$ . As variáveis foram arranjadas em três grupos adimensionais, chegando-se às seguintes expressões:

- Critério para formação total de ligamentos

$$\frac{\left(\frac{Q\rho}{\mu D}\right) \left(\frac{\omega\rho D^2}{\mu}\right)^{0.63}}{\left(\frac{\sigma D\rho}{\mu^2}\right)^{0.90}} > 0.46$$

- Número de ligamentos formados:  $n$

$$n = 0.29 \left(\frac{\omega\rho D^2}{\mu}\right)^{0.93} \left(\frac{\sigma D\rho}{\mu^2}\right)^{-0.44}$$

- Critério para formação direta de gotas

$$\frac{\left(\frac{Q\rho}{\mu D}\right) \left(\frac{\omega\rho D^2}{\mu}\right)^{0.95}}{\left(\frac{\sigma D\rho}{\mu^2}\right)} < 1.52$$

- Número de gotas produzidas por revolução: N

$$N = 2\pi/\alpha$$

onde:  $\alpha$  = ângulo percorrido pelo ligamento no intervalo de formação de duas gotas sucessivas

- Frequência de formação de gotas: f

$$f = \frac{\omega}{\alpha}$$

$$f = \frac{\omega}{\theta} ng$$

onde:  $\theta$  = ângulo percorrido pelo ligamento no intervalo de formação de duas gotas quaisquer, não sucessivas

ng = número de gotas formadas no espaço abrangido por  $\theta$

Frost determinou para f a seguinte equação:

$$f = \frac{Q}{D^3} \left(\frac{\omega D^3}{Q}\right)^{1.33}$$

- Diâmetro das gotas formadas pela desintegração do ligamento: d

Em outra pesquisa, feita por Frost e Yates et al [12], foi estudado o comprimento dos ligamentos formados por um atomizador de pulsação. Eles acharam que existe a tendência a ser mais compridos à medida que aumenta a velocidade de fluxo, até atingir um tamanho máximo a partir do qual decrescem rapidamente, até um comprimento que permanece quase constante ao continuar aumentando a velocidade.

Tyler e Richardson mencionados por [9] sugerem a seguinte relação, válida para a região onde o comprimento do ligamento cresce com o aumento da velocidade de fluxo:

$$L/d_L = KV \left( \frac{\rho d_L}{\sigma} \right)^{1/2}$$

onde:

- L = comprimento do ligamento
- $d_L$  = diâmetro do ligamento
- K = constante
- V = velocidade linear do líquido no ligamento
- $\rho$  = densidade do líquido
- $\sigma$  = tensão superficial do líquido

A anterior relação pode ser alterada pela adição de produtos que tem efeito sobre a tensão superficial do líquido. Este caso é frequente na aplicação de agroquímicos com o uso dos chamados "surfactantes".

Nesta pesquisa também foi calculado o tempo de duração de um ligamento ou vida do ligamento, dada pela equação:

$$t = L/V_h$$

onde: t = tempo de duração do ligamento

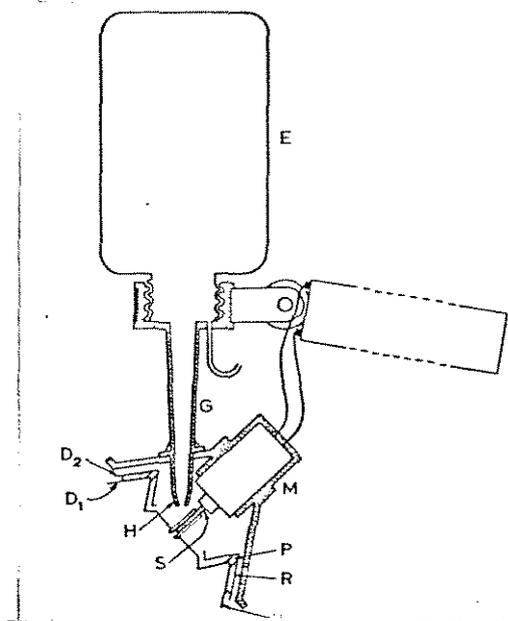
$V_h$  = velocidade do líquido no orifício de saída

Boize e Dombrowski [3] estudaram as características de atomização de uma unidade rotativa micron-ULVA, consistente

um, serrilhados na periferia apresentando cada disco 360 dentes de ponta aguçada.

Os discos foram movimentados por um motor elétrico de 7 watts de corrente contínua, alimentado por uma bateria de 12 volts. Eles estavam unidos de modo que constituíam uma unidade cuja velocidade de rotação podia-se variar entre 30 e 117 revoluções por segundo. Oito separadores cilíndricos diminutos espaçavam os dois discos 2 mm para permitir o fluxo do líquido. A Fig. 5 mostra esquematicamente os detalhes da unidade analisada.

No experimento foram usados como líquido de aplicação, óleos de diferentes viscosidades. A alimentação do atomizador foi inicialmente por ação da aceleração da gravidade e logo usou-se um sistema com pressão pneumática.



$D_1, D_2$  = discos  
H = bico  
S = eixo  
M = motor  
P = separador  
B = bateria

Fig. Nº 5 : Esquema da unidade rotativa MICRON-ULVA

A taxa de fluxo foi controlada, por meio de bicos intercambiáveis, desde  $0,5$  até  $4 \text{ cm}^3$  por segundo.

A pesquisa foi feita num lugar fechado, para controlar as condições de trabalho.

Foram usadas, para obter gráficos, as seguintes expressões fornecidas por Hinze e Milborn, segundo [3].

- Condições de operação para a transição de ligamentos a gotas:

$$\frac{Q}{d} \left( \frac{\rho}{\sigma d} \right)^{0.5} \left[ \omega d \left( \frac{\rho d}{\sigma} \right)^{0.5} \right] \left[ \frac{\mu}{(\rho d \sigma)^{0.5}} \right]^{0.167} < 4.55 \times 10^{-3}$$

- Condições de operação para o número de ligamentos n:

$$n = 0.215 \left( \frac{\rho \omega^2 d^3}{\sigma} \right)^{5/12} \left( \frac{\rho \sigma d}{\mu^2} \right)^{1/16}$$

onde:

- Q = taxa de fluxo m<sup>3</sup>/s
- d = diâmetro disco mm
- ω = velocidade angular do disco rad/s
- ρ = densidade do líquido Kg/m<sup>3</sup>
- μ = viscosidade do líquido Kg/ms
- σ = tensão superficial do líquido Kg/s<sup>2</sup>
- n = número de ligamentos

A Tabela 2 apresenta uma comparação entre o número de ligamentos calculado pela equação e o realmente obtido no experimento, usando 4 óleos de viscosidade diferentes e duas velocidades de rotação.

Tabela 2 : Número de ligamentos produzido

Líquido	Velocidade do disco rev./s	Nº Calculado da equac.	Nº Obtido do exp.
óleo 1	50	528	304
	100	941	285
óleo 2	50	461	295
	100	821	310
óleo 3	100	605	272
óleo 4	50	267	247
	100	371	286

Convém salientar que o máximo número possível de ligamentos no experimento deveria ser de 360, correspondentes ao número de dentes de cada disco.

Após a análise, Boize e Dombrowski [3] chegaram às seguintes conclusões:

- A viscosidade e a tensão superficial apresentaram pouca influência na distribuição e tamanho das gotas. Este resultado não concorda com o exposto por outros pesquisadores.
- O tamanho das gotas decresce com o aumento da velocidade de rotação e cresce com o incremento da taxa de fluxo. Estes fenômenos foram mais acentuados na faixa de 25 a 50 revoluções por segundo.
- A formação direta de gotas, para baixas taxas de fluxo, aconteceu com velocidades de rotação inferiores

#### 4.5 - O TAMANHO DAS GOTAS

O tamanho das gotas é o fator usado pela maioria dos pesquisadores para determinar a qualidade de uma aplicação de pesticidas, toda vez que ele tem relação com a densidade de cobertura, a deriva, a evaporação, a penetração e a recuperação de produto aplicado.

A seleção do tamanho de gotas depende do tipo de problema a controlar e das condições ambientais do lugar.

Um bom equipamento de aplicação deve permitir a obtenção de gotas ajustáveis a cada caso particular. Quase sempre os equipamentos são projetados para cobrir uma faixa do problema de aplicação de agroquímicos, dentro da qual possuem bom comportamento. Convém salientar que nenhum bico de pressão ou atomizador rotativo dos usados na agricultura produz gotas de um único tamanho.

As gotas são consideradas como pequenas esferas, cujo diâmetro geralmente está expresso em micras (1 micra =  $10^{-6}$  m). O volume de cada gota será portanto:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad \text{ou} \quad V = \frac{1}{6} \pi d^3$$

onde: V = volume da gota

r = raio da esfera    d = 2r

De acordo com a equação de volume esférico, se deseja reduzir x vezes o volume de uma aplicação, mas conservando um número determinado de gotas/cm<sup>2</sup>, então o diâmetro deverá reduzir-se (x)<sup>1/3</sup> vezes.

As gotas podem ser classificadas de acordo com seu tamanho e, de fato, existem numerosas classificações. Uma delas é a fornecida pela Tabela 3. dada por Hewitt et al [15].

Tabela 3 : Classificação das gotas segundo seu tamanho

Diâmetro (micras)	Denominação
200 - 1000	Pulverização
100 - 200	Atomização
< 200	Nebulização

#### 4.6 - TIPOS DE DIÂMETRO DAS GOTAS

Bernacki et al [1] faz menção dos seguintes tipos de diâmetros:

- Diâmetro médio: Para efeitos práticos, calcula - se estabelecendo intervalos de classe da seguinte maneira:

$$D_M = \frac{\sum D_i n_i}{n}$$

onde:  $D_i$  = diâmetro médio das gotas no intervalo de classe

$n_i$  = número de gotas no intervalo de classe

$n$  = número total de gotas

- Diâmetro de Sauter: Consiste na relação entre o volume e a superfície das gotas. É usado nos países anglo - saxônicos.

$$D_S = \frac{\sum D_i^3 n_i}{\sum D_i^2 n_i}$$

- Diâmetro volumétrico médio. D.V.M. é um diâmetro médio da população obtido a partir da seguinte equação de igualdade de volumes.

$$\frac{1}{6} \pi (D.V.M.)^3 n = \frac{1}{6} \pi (\sum D_i^3 n_i)$$

$$D.V.M. = \left( \frac{\sum D_i^3 n_i}{n} \right)^{1/3}$$

- Diâmetro mediano de massa (D.M.M.) é o diâmetro de uma gota selecionada de tal maneira que o total da massa das gotas maiores que ela é igual ao total da massa das gotas menores que ela.

- Diâmetro mediano, D.M. é o diâmetro de uma gota escolhida de tal modo que o número de gotas maiores que ela é igual ao número de gotas menores que ela.

O gráfico Nº 1 mostra para várias categorias do diâmetro volumétrico meio a gama de gotas e sua distribuição percentual tanto por número como por volume.

Mass [22] apresenta uma relação prática para obter um diâmetro adequado nas aplicações aéreas com "micronair":

$$d = \frac{3.8}{\omega} \left( \frac{\sigma}{gD} \right)^{1/2}$$

onde: D = diâmetro do rotor  
d = diâmetro da gota  
 $\omega$  = velocidade angular do rotor  
 $\sigma$  = tensão superficial do líquido  
g = aceleração da gravidade

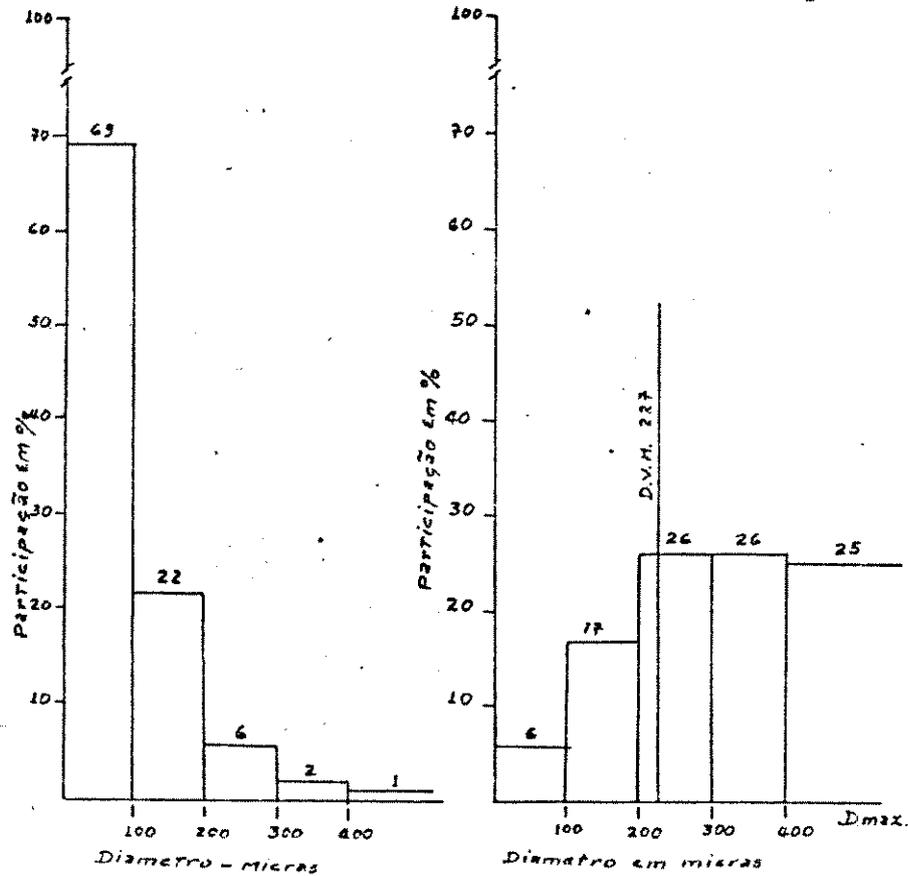


Gráfico Nº 1 : Gama de gotas produzidas, participação dos tamanhos em aplicações de água α B.V. com o MICRONAIR AU3000 [15].

#### 4.7 - SISTEMAS PRODUTORES DE GOTAS

Segundo Bernacki, há basicamente dois tipos de geradores de gotas para aplicações agrícolas:

- o bico de pressão: no qual o processo de rompimento do líquido resulta da conversão da energia do líquido, a pressão numa câmara, em energia cinética e tensão superficial das gotas. Este tipo de unidade apresenta como desvantagens a desuniformida

- o aplicador hidropneumático: no qual o rompimento do líquido resulta do impacto de uma corrente de ar contra uma fina camada de líquido emitida a baixa pressão. Com estas unidades para se obter gotas pequenas, precisa-se de alta velocidade e vazão na corrente de ar. As gotas apresentam menor intervalo de variação no tamanho que nos bicos à pressão.

#### 4.8 - O FATOR DE ESPALHAMENTO OU EXPANSÃO F, DAS GOTAS

O impacto de uma gota sobre uma superfície produz uma expansão daquela. O valor adimensional da relação entre os diâmetros da mancha e a gota é denominado "Fator de expansão".

$$F = \frac{\text{diâmetro da mancha}}{\text{diâmetro da gota}}$$

$$d = \frac{d_1}{F}$$

onde:  $d$  = diâmetro da gota

$d_1$  = diâmetro da mancha

$$V = \frac{\pi}{6} \left[ \frac{d_1}{F} \right]^3$$

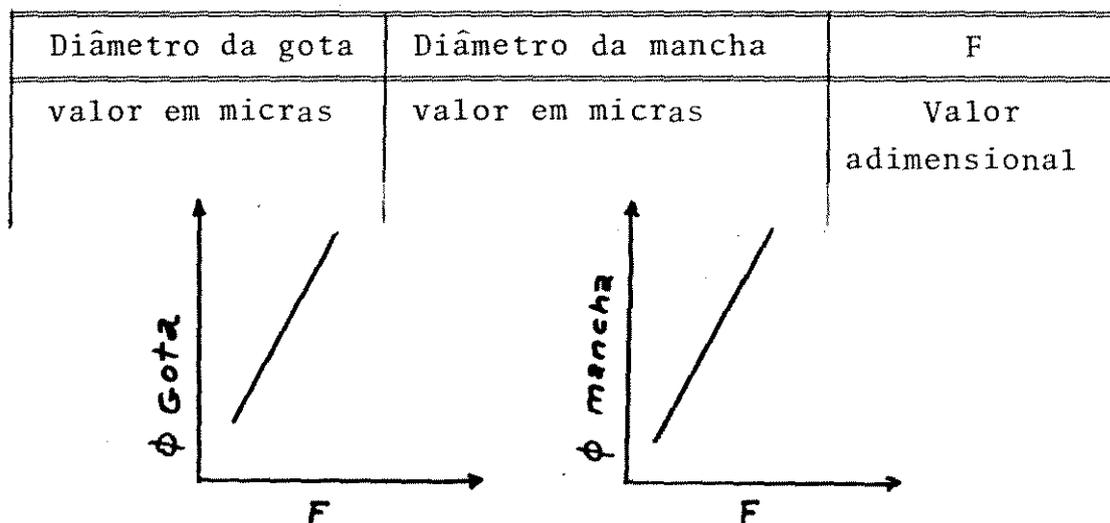
onde:  $V$  = volume da gota

Geralmente  $F > 1$  e seu valor depende das propriedades físicas e/ou químicas da superfície de impacto e do ângulo de contato da gota com ela.

O valor de  $F$ , para cartões coletores de amostras de gotas, pode ser determinado no laboratório produzindo gotas artificialmente, cujo diâmetro é medido por métodos fotográficos ou ópticos. Ao cair as gotas na superfície, determina-se o diâmetro da mancha formada. Esta técnica é bem conhecida.

Com os dados tabelados, podem-se construir gráficos de utilidade prática. Para cada tipo de superfície coletora existe um valor de F.

As tabelas e os gráficos são da seguinte forma:



Vários centros de pesquisa dos países desenvolvidos já têm estabelecidos valores de F para certos tipos de papéis (Kromokite, Rogopov) para aplicações de água colorida com um traçador especial, em concentrações determinadas.

Hewitt determinou um valor constante de F de 1.163 para qualquer tipo de solução aplicada sobre uma camada de óxido de magnésio, com espessura maior que o diâmetro da gota.

#### 4.9 - A TRAJETÓRIA DAS GOTAS

A trajetória das gotas pode ser mudada pelo efeito de forças aplicadas intencionalmente ou por forças naturais, geralmente indesejáveis.

O entendimento dos processos aerodinâmicos e de dispersão que agem sobre as gotas após a emissão é de grande importância na condução de uma aplicação.

Trayford e Welch [26] desenvolveram com a ajuda de um computador um modelo para traçar a trajetória das gotas, em aplicações aéreas.

Eles apresentam o equacionamento do movimento das gotas tendo em conta as componentes nas direções vertical, lateral e longitudinal e incluindo o efeito do turbilhão produzido pelo avião e as perdas por evaporação.

Se  $V_d$  e  $V_a$  são componentes das velocidades das gotas e do ar, respectivamente, e  $(V_A - V_D)$  é a velocidade resultante das velocidades da gota e do ar, então a força para movimentar a gota verticalmente será:

$$m \frac{d}{dt} V_d + mg = \frac{1}{2} \rho_a \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 C_D (V_a - V_d) (V_A - V_D)$$

- onde:  $m$  = massa da gota Kg
- $d$  = diâmetro da gota m
- $g$  = aceleração da gravidade m/s<sup>2</sup>
- $\rho_a$  = densidade do ar Kg/m<sup>3</sup>
- $C_D$  = coeficiente de arrasto, adimensional
- $V_A$  = velocidade resultante do ar m/s
- $V_D$  = velocidade resultante da gota m/s

Para o movimento lateral e longitudinal a componente gravitacional  $mg$  é zero.

O arrasto das gotas, de acordo com a lei de Stokes para esferas quando o número de Reynolds é baixo  $R_e < 1$ , será dado por

$$D_{STOKES} = 6\pi\mu_a \left(\frac{d}{2}\right) (V_A - V_D)$$

- onde:  $D$  = arrasto

Segundo Marchant [20], Berry demonstrou que o coeficiente de arrasto,  $C_D$ , de uma gota é substancialmente o mesmo que apresenta um sólido esférico para baixos números de Reynolds. O valor do coeficiente de arrasto de uma gota e um sólido esférico varia entre 0 e 10% para valores de Reynolds entre 0 e 1000.

Para gotas de 500 micras de diâmetro, um número de Reynolds de 1000, representa uma velocidade aproximada de 30m/s à temperatura ambiente. Como o tamanho das gotas em aplicações agrícolas deve ser menor de 500 micras, isto permite usar os coeficientes de arrasto tabelados para esferas sólidas.

Outras equações estabelecidas por Trayford e Welch são:

- Número de Reynolds da gota:

$$R_e = \rho_a (V_A - V_D) / \mu_a$$

- Redução do tamanho das gotas durante a queda (evaporação):

$$\frac{d}{d_0} = \left(1 - \frac{t}{t\ell}\right)^{1/2}$$

onde:  $d_0$  = diâmetro inicial, no tempo  $t=0$

$t$  = tempo, em segundos

$d$  = diâmetro da gota no tempo  $t \neq 0$

$t\ell$  = tempo de evaporação da gota

- Duração, ou vida, ou tempo de evaporação da gota:

$$t\ell = d_0^2 / \beta \Delta T$$

onde:  $\Delta T$  = depressão da temperatura no termômetro do bulbo úmido

Os autores, através da simulação, comprovaram que a e vaporação tem um efeito significativo na trajetória das gotas , especialmente quando o diâmetro inicial,  $d_0$ , é menor de 200 mi cras . Também acharam um marcado efeito do turbilhão do avião na trajetória das gotas. O equacionamento deste fator não foi incluído nesta revisão.

De acordo com Marchant [20], as mudanças na velocidade ou na direção das gotas são ocasionadas por forças aerodinâmicas e gravitacionais. Assumindo-se que uma gota mantém dentro da cor rente de ar sua forma esférica, e que se desloca sem rotação, en tão só agiram nela as forças de arrasto e gravitacional.

A Fig. 6 mostra num plano vertical as forças que agem sobre uma gota levando em conta as restrições mencionadas.

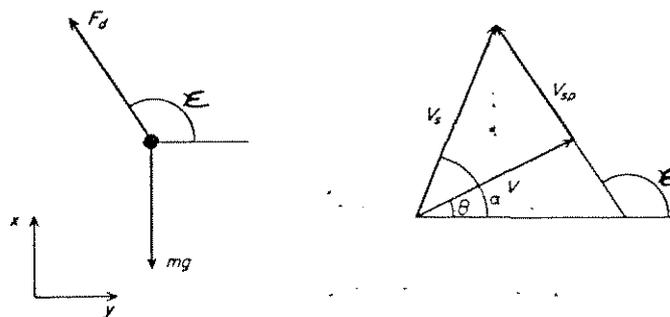


Fig. Nº 6 : Forças que atuam sobre a gota. Diagrama de velocidades

Neste diagrama de velocidades, a velocidade relativa do ar respeito à gota  $V_{sp}$  determina a força de arrasto. A magnitude de  $V_{sp}$  é dada por:

$$|V_{sp}| = [(V_s \cos\alpha - V_x)^2 + (V_s \sin\alpha - V_y)^2]^{1/2}$$

$V_s$  = velocidade da corrente de ar

$V_x$  = velocidade da gota na direção x

$V_y$  = velocidade da gota na direção y

$\alpha$  = ângulo formado por  $V_s$  com o eixo positivo x

$V_x = V \cos \theta$

$V_y = V \text{ seno } \theta$

onde:  $V$  = velocidade da gota

$\theta$  = ângulo formado por  $V$  com o eixo positivo x

A força de arrasto, na direção e magnitude, da velocidade de arrasto, é uma função do coeficiente de arrasto.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A V_{sp}^2$$

onde:  $F_d$  = força aerodinâmica de arrasto

$C_d$  = coeficiente de arrasto

$\rho$  = densidade do ar

$$A = \text{área da gota} = \frac{1}{4} \pi D^2.$$

Às vezes o coeficiente de arrasto é expressado como uma função do número de Reynolds em tabelas aerodinâmicas padrão.

O número de Reynolds para uma gota pode ser calculado por:

$$R_e = \frac{V_{sp} \times D}{\nu}$$

onde:  $R_e$  = número de Reynolds

$D$  = diâmetro da gota

Aplicando a segunda lei de Newton nas componentes da força aerodinâmica de arrasto, temos:

$$Fd \cos \epsilon = ma_x$$

$$Fd \sin \epsilon - mg = ma_y$$

onde:  $\epsilon$  = ângulo formado por  $V_s$  com o eixo positivo x

m = massa da gota

$a_x$  = aceleração da gota na direção x

$a_y$  = aceleração da gota na direção y

Dadas as condições iniciais e usando as componentes da velocidade inicial  $V_0$ , podemos por integração das duas equações anteriores achar as componentes da velocidade da gota.

$$V_x = V_0 \cos \theta_0 + \int_0^t a_x dt$$

$$V_y = V_0 \sin \theta_0 + \int_0^t a_y dt$$

As posições x e y também podem ser obtidas por integração das duas equações anteriores

$$x = \int_0^t V_x dt$$

$$y = \int_0^t V_y dt$$

Bernacki et al [1] faz uma análise para determinar a velocidade absoluta das gotas no momento de emissão, em bicos rotativos hidro-pneumáticos arranjados radialmente e nos quais o líquido é lançado fora a considerável velocidade pelo efeito da força centrífuga.

Durante o processo de saída, a força de inércia distribui o líquido em camadas delgadas nas paredes dos tubos de saída, e estas camadas se rompem, originando gotas ao entrar em

contato com a corrente de ar.

A Figura Nº 7 esquematiza o processo neste tipo de aplicadores, pouco usados atualmente.

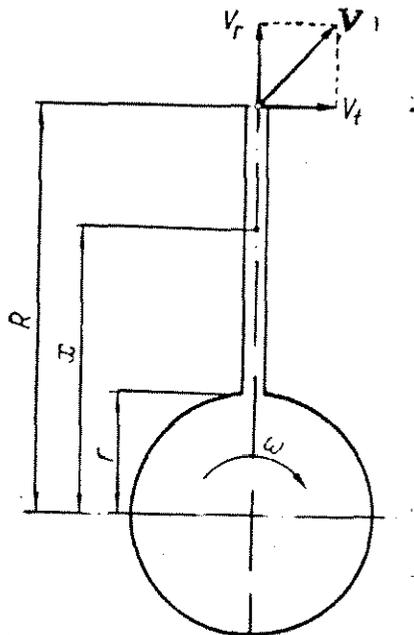


Fig. Nº 7 - Velocidades do líquido no extremo do tubo

A velocidade do líquido  $V$  ao deixar o tubo será a resultante da velocidade radial  $V_R$  do líquido e a velocidade tangencial  $V_T$ , do extremo do tubo.

O cálculo de  $V_T$  não apresenta nenhuma dificuldade

$$V_T = \omega R$$

onde:  $\omega$  = velocidade angular do tubo

$R$  = raio de rotação

A velocidade radial  $V_R$  depende de muitos fatores e seu cálculo é difícil, mas como na maioria dos casos só é preciso um valor aproximado, este pode estimar-se facilmente se assumem-se as seguintes considerações:

- o líquido se movimenta no tubo sem fricção

- o líquido que sai de cada bico é considerado como uma série de gotas individuais
- a única força que afeta as gotas é a centrífuga
- o peso de cada gota é desprezível

De acordo com a Figura 7 e levadas em conta as restrições expostas, a velocidade radial pode ser calculada como segue.

Sobre uma gota de massa  $m$ , localizada a uma distância  $x$  do eixo de rotação, atuará uma força centrífuga igual a  $m\omega^2x$  e pelo tanto, o trabalho realizado durante o movimento da gota será:

$$mV_{R2}^2 - mV_{R1}^2 = \int_r^x m\omega^2x \, dx$$
$$mV_{R2}^2 - mV_{R1}^2 = m\omega^2(x^2 - r^2)$$
$$V_{R2} = [V_{R1}^2 + \omega^2(x^2 - r^2)]^{1/2}$$

onde:  $r$  = distância entre o eixo de rotação e o início do tubo

$R$  = distância entre o eixo de rotação e o extremo do tubo

$V_{R1}$  = velocidade radial na entrada do tubo

$V_{R2}$  = velocidade radial à distância  $x$  do eixo de rotação

A velocidade do líquido ao deixar o tubo será:

$$V = (V_T + V_R)^{1/2}$$

sendo  $V_R$  a velocidade radial na saída do tubo o seja quando  $x = R$ .

4.10 - DINÂMICA DA CORRENTE DE AR NA ATMOSFERA

Bernackiet al [1] mostra esquematicamente o fluxo de uma corrente de ar saindo de um orifício, e estabelece as equações para determinar a velocidade da corrente num ponto qualquer do espectro formado.

A Figura Nº 8 representa a corrente de ar produzida por um ventilador (de fluxo axial ou centrífugo) saindo de um duto circular de diâmetro  $d_0$  com uma velocidade média  $V_0$ .

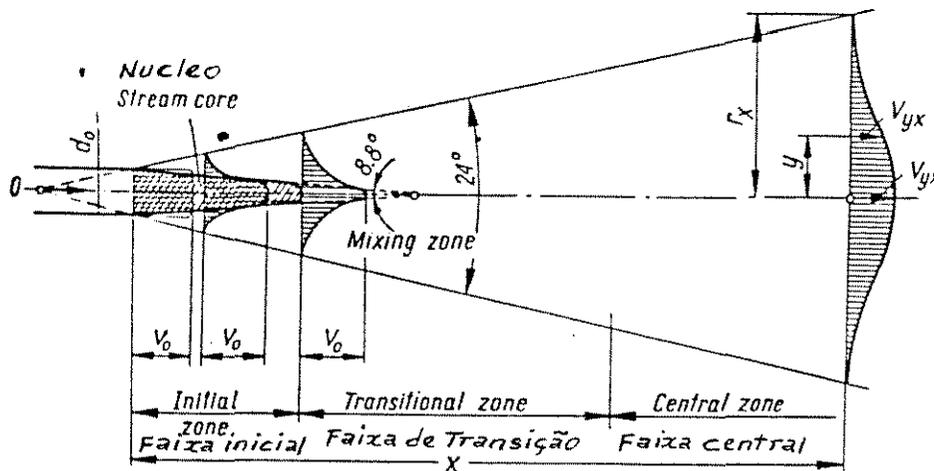


Fig. Nº 8 : Fluxo de uma corrente de ar saindo de um orifício circular

A corrente de ar apresenta a forma de um cone com o vértice, 0, dentro do duto e cujo ângulo será maior na medida que aumente a turbulência dentro do duto. Na maioria dos casos pode assumir-se um valor igual a  $24^\circ$ .

Na vizinhança do orifício de saída se origina um núcleo que tem forma de parabolóide, cuja velocidade pode ser considerada igual à inicial  $V_0$ . Para efeitos práticos, o parabolóide pode ser considerado como um cone com um ângulo de  $8,8^\circ$  no vértice.

Na região de mistura a velocidade ao longo do eixo central da corrente varia inversamente com a raiz quadrada da distância até o orifício de saída.

Na zona central após a região de mistura, a velocidade de axial pode ser calculada, para ventiladores centrífugos, da seguinte maneira:

$$V_x = \frac{C}{3600} \cdot \frac{L_0}{x\sqrt{F \cdot a}}$$

onde: C = constante que depende do estado de turbulência da corrente de ar

F = superfície do orifício de saída, m<sup>2</sup>

L<sub>0</sub> = taxa de fluxo de ar, m<sup>3</sup>/s

a = coeficiente de contração

x = distância até o orifício de saída, m

Valores de C para diferentes tipos de orifícios são apresentados na Tabela 4.

O coeficiente de contração varia entre os valores 0.6 para orifícios com extremo aguçado e 0.95 para orifícios com extremo redondo. O valor promedio de a é de 0.8.

O cálculo de V<sub>x</sub> para ventiladores de fluxo axial, devido a que o ângulo formado pela corrente é muito maior que 24° podendo atingir até 79°, deve ser obtido pelas seguintes equações, segundo que o ventilador seja de pás planas ou curvas.

Para pás planas: 
$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{0.48}{\frac{0.24x}{d_0} + 0.145}$$

Para pás curvas: 
$$\frac{V_x}{V_0} = \frac{0.48}{\frac{0.12x}{d_0} + 0.145}$$

As dimensões de x são dadas em m.

Tabela 4 : Valores de C para diferentes tipos de orifícios

Tipo de orifício	Velocidade da corrente m/s	Valor de C
circular ou quadrado	2 - 5	5.7
	5 - 10	7.0
anelar	2 - 5	3.9
	5 - 10	4.8
retangular (ranhura)	2 - 5	4.9
	5 - 10	6.0

Para o cálculo da velocidade horizontal  $V_{yx}$  num ponto qualquer, fora do eixo da corrente, pode-se usar o gráfico Nº 2,

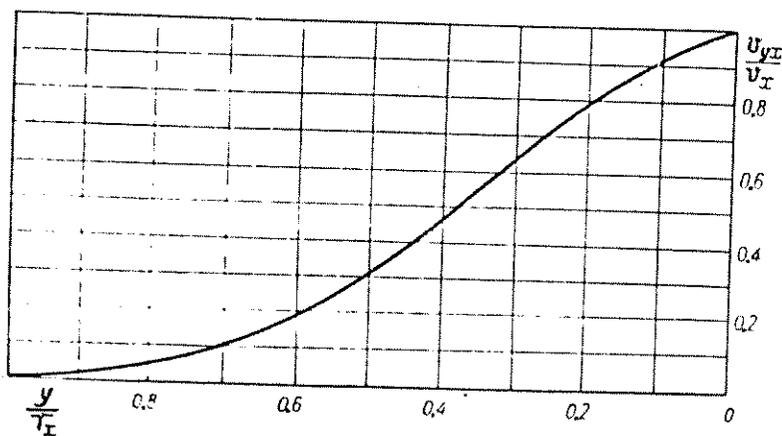


Gráfico Nº 2 : Curva para o cálculo de velocidades (orifício circular)

na qual:  $y$  = distância vertical desde o ponto escolhido até o eixo da corrente de ar

$v_x$  = raio do cone que passa pelo ponto escolhido

$V_{yx}$  = velocidade horizontal da corrente no ponto escolhido

$V_x$  = velocidade horizontal no eixo da corrente à distância  $x$

Em condutos circulares de comprimento considerável, a corrente muda seu ângulo de maneira súbita a partir do momento em que se forma o parabolóide, tal como se mostra na Figura Nº 9.

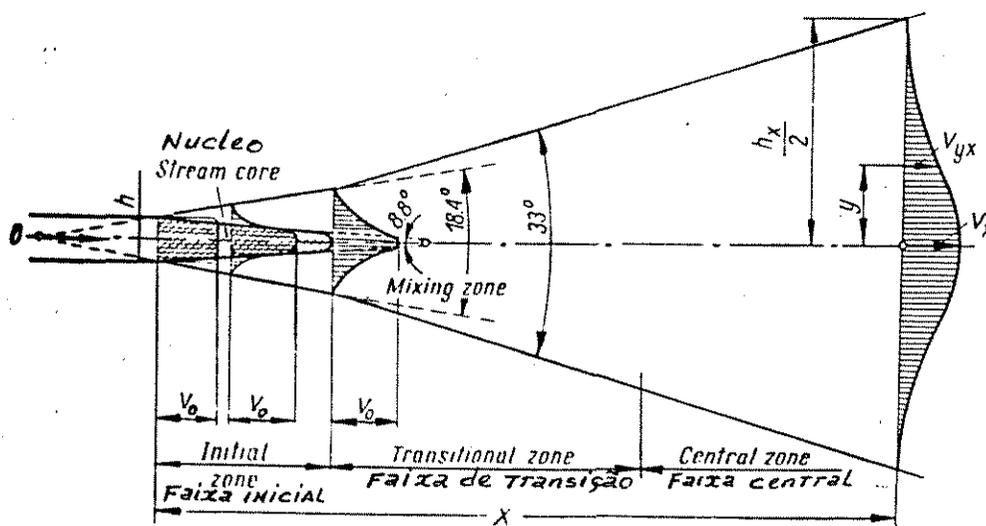


Fig. Nº 9 : Corrente de ar saindo de um orifício circular de comprimento considerável

Para este caso, as equações anteriores para o cálculo das velocidades horizontais, têm validade.

Para o caso menos comum de orifícios de saída com seção retangular (ranhura), a velocidade axial da corrente pode ser determinada pela seguinte expressão:

$$V_x = V_0 \left( \frac{h \cdot C}{x \cdot a} \right)^{1/2}$$

onde: h = largura do retângulo

Um caso frequente nas aplicações agrícolas é aquele no qual a corrente bate contra um plano (solo, folhas, cartões) . Bernacki [ ] descreve bem este caso, apresentando a formação de uma nova corrente, paralela à superfície, e que atinge uma velocidade que pode afetar a formação dos depósitos do agroquímico aplicado.

Assumindo que a corrente bate-se perpendicularmente no plano, ela fugiria pelas laterais paralelamente tal como é indicado na Figura Nº 10.

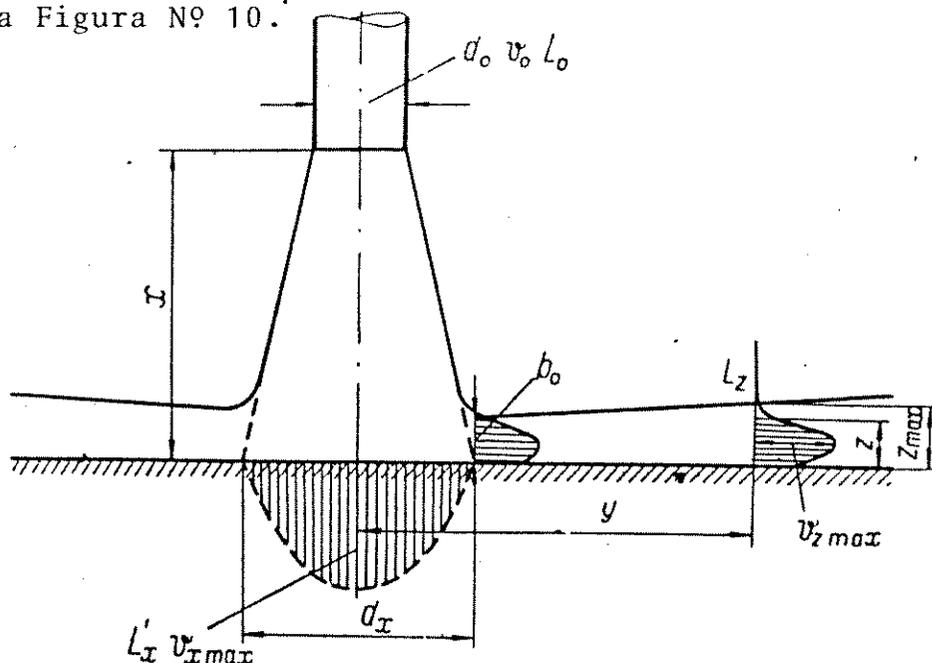


Fig. Nº 10 : Formação de uma corrente lateral quando a corrente inicial bate perpendicularmente contra um plano

Se  $v_z$  = velocidade na nova direção paralela ao plano, então  $v_z$  máximo pode ser determinado pelas relações representadas no gráfico Nº 3 (ver Figura Nº 10). O cálculo da velocidade de  $v_z$  num ponto qualquer localizado a uma distância y pode ser feito com ajuda do gráfico Nº 4 (ver Figura Nº 10).

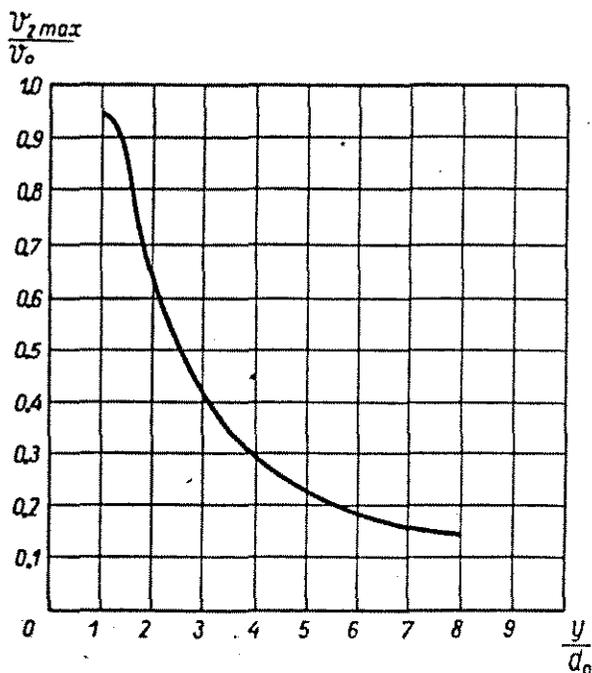


Gráfico Nº 3 : Relação entre a máxima velocidade na corrente paralela e a velocidade de saída no orifício

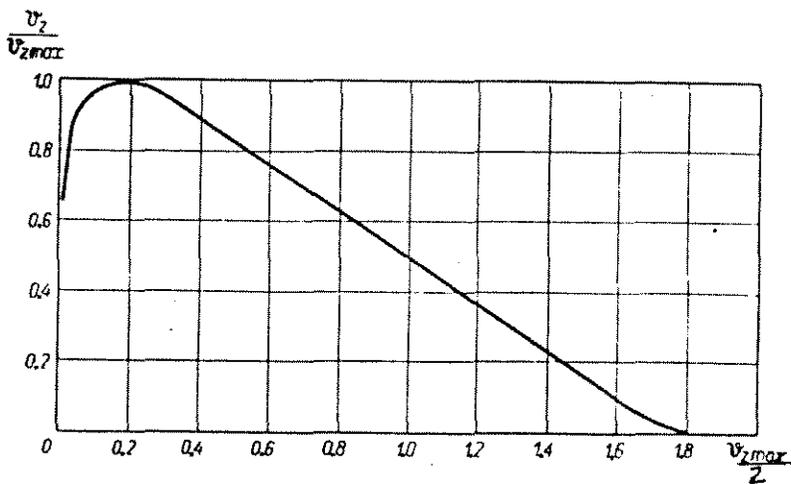


Gráfico Nº 4 : Determinação da velocidade horizontal num ponto qualquer da corrente paralela

Para o desenho do gráfico Nº 4 foi adotada a escala horizontal na qual para o valor 1 corresponde um valor de 0.5 na relação  $V_z/v_z$  máximo.

#### 4.11 - ROMPIMENTO DE UMA GOTA NUMA CORRENTE DE AR

O princípio de ação é o seguinte: As gotas produzidas por qualquer tipo de gerador são impactadas por uma corrente de ar a alta velocidade produzindo seu rompimento e originando gotas de menor tamanho, as quais são transportadas pela mesma corrente.

Durante o movimento no ar, as gotas são submetidas à ação de forças externas e internas resultantes da resistência do meio e da tensão superficial, respectivamente. A determinação teórica do processo de deformação das gotas é impossível devido à falta de informação sobre a distribuição da pressão ao redor de cada partícula durante o percorrido.

Em termos gerais, o processo pode ser explicado com a ajuda da equação de equilíbrio de pressões. A gota encontra-se em estado de equilíbrio quando:

$$p_i = p_a + p_s$$

onde:  $p_i$  = pressão interna (valor constante)

$p_a$  = pressão externa

$p_s$  = pressão por tensão superficial

para uma esfera  $p_s = \frac{2\sigma}{r}$  sendo  $\sigma$  a tensão superficial e  $r$  o raio da gota.

O estado de equilíbrio permanece até quando acontece uma mudança excessiva no valor de  $p_a$ , geralmente causada pelo movimento (corrente de ar). Inicialmente, a gota se aplaina, diminuindo seu raio de curvatura. Quando  $p_a$  atinge um valor alto,  $p_s$  não pode mudar suficientemente para contrabalancear o incre

mento de  $p_a$ , rompendo-se a condição de equilíbrio, pois  $p_i$  permanece constante. O significado físico é o rompimento da gota em outras de menor tamanho, nas quais as forças de tensão superficial são maiores devido a seu menor raio de curvatura. O processo continua até quando o diâmetro atinge um valor que permite manter o equilíbrio indicado na equação.

Em concordância com a anterior teoria, o incremento da velocidade relativa das gotas em relação ao ar produz, até certo limite, diminuição no tamanho da gota e uma notória influência na tensão superficial destas.

A energia requerida para o rompimento das gotas grandes em outras de menor tamanho é igual ao produto da tensão superficial vezes a diferença entre a superfície total das gotas antes e depois do rompimento.

$$E_a = \sigma(S_D - S_A)$$

onde:  $E_a$  = energia para o rompimento  
 $S_D$  = superfície depois do rompimento  
 $S_A$  = superfície total antes do rompimento

Para a obtenção de gotas de 100 micras ou menos, são requeridas altas velocidades da corrente de ar tal como é mostrado no gráfico Nº 5. Por sorte, as recomendações de tamanho de gotas para uso agrícola estão entre 100 e 400 micras, dependendo do tipo de controle a realizar.

Pesquisas feitas no Japão indicam que o sistema de contra corrente entre o fluxo de saída do líquido e o movimento da corrente de ar, produz grandes reduções no tamanho das gotas.

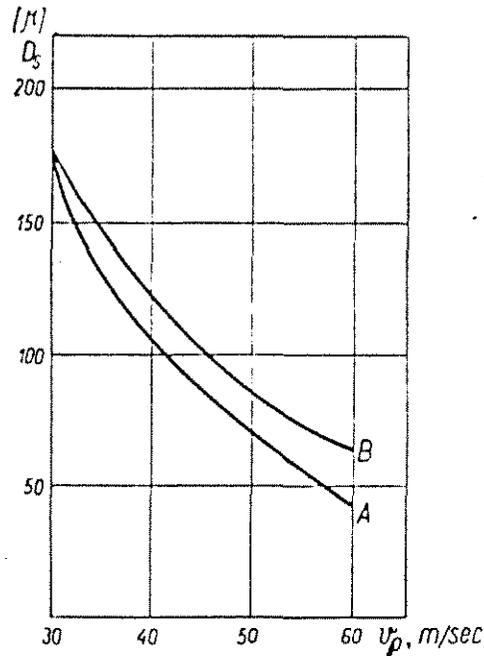


Gráfico Nº 5 : Efeito da velocidade do ar e do tipo de orifício sobre o tamanho das gotas

#### 4.12 - UTILIZAÇÃO DE TRAÇADORES

Com este nome, são conhecidas alguns corantes que se adicionam ao líquido de aplicação e que permitem uma melhor observação da gota e da mancha formada nas superfícies coletoras. O contraste óptico entre a cor do traçador e o coletor deve ser forte e permanente.

O uso desta ferramenta técnica facilita a medição e conteio das gotas, nas aplicações de baixo e ultra-baixo volume, nas quais o diâmetro das gotas é pequeno e a influência das condições micrometeorológicas é maior. A cor do traçador, ou a cor produzida pela reação deste com o agroquímico é usada para estimar, em pequenas áreas, a deposição do pesticida mediante a realização de uma análise colorimétrica [28].

Johnstone [17] sugere uma técnica para estimar o depósito do pesticida sobre uma superfície baseando-se no uso de traçadores cujas cores tenham o comprimento de onda de máxima ab

sorção de cada uma, fora do limite de absorção das outras. Esta técnica é muito importante na avaliação simultânea de vários equipamentos.

No caso mais frequente em que só se usa um traçador, se pode fazer a seguinte simplificação matemática da técnica de Johnstone: Para uma amostra de volume  $V$  de uma aplicação que contém um diluente, um pesticida e um traçador, se tem

$$C(x) = m(x)/v \quad (1)$$

$$C'(x) = m(x)/V \quad (2)$$

onde:  $C(x)$  = concentração do traçador  $x$  no volume  $v$  de pesticida (gr/ml)

$C'(x)$  = concentração do traçador  $x$  no volume  $V$  da amostra (gr/ml)

$v$  = volume do pesticida na amostra

$V$  = volume da amostra

Se  $\lambda(x)$  é o comprimento de onda de alta absorção do traçador, uma diluição em série da formulação que contém  $x$  permitiria obter a densidade óptica  $D(x)\lambda(x)$ , correspondente à concentração  $C'(x)$  que se deseja conhecer. Esta concentração seria

$$C'(x) = G(x) C(x) \quad (3) \quad \text{sendo } G(x) \text{ o fator de diluição.}$$

Substituindo (1) e (2) em (3), teremos

$$v = G(x) V$$

$V$  é conhecido, é o volume da amostra recolhida. Precisa-se determinar  $G(x)$  para achar o volume de pesticida presente na amostra, Tendo conhecidas a densidade óptica de  $x$  pela diluição em série, e o comprimento de onda de máxima absorção  $\lambda(x)$ , podemos achar o valor de  $G(x)$  com a ajuda de um gráfico de calibração obtido por diluições em série a partir de uma solução saturada do respectivo traçador. O gráfico Nº 6 mostra um exemplo de calibração para duas cores, vermelho e azul, e para dois comprimentos de onda de cada uma.

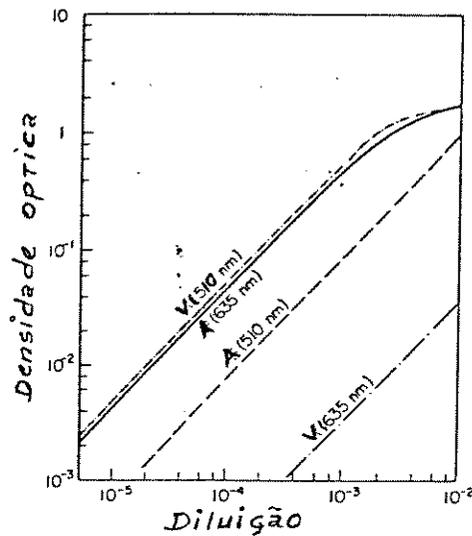


Gráfico Nº 6 : Calibração por diluições em querosene, de soluções saturadas de vermelho e azul, em formulações de inseticida

Johnstone [18], em seu trabalho, usou coletores de papel fotográfico de brometo tratado com bromocresol verde para fazer o papel sensível às gotas de água.

Hewitt [15] recomenda o uso de "lanacron azul marinho" a 1% de concentração como traçador quando se usam cartões de papel "Kromokite".

#### 4.13 - TIPOS DE AMOSTRAS PARA A MEDIÇÃO DAS GOTAS

Há muitas técnicas para a determinação do tamanho das gotas [6],[14],[23],[25]. Segundo Frost e Lake [10] podem reunir-se em dois grupos básicos:

- Amostras espaciais: são tomadas instantaneamente no espectro da aplicação, exemplo uma fotografia. Representam o número e tamanho das gotas num instante, mas nada indicam sobre a sua distribuição na superfície objetivo.

- Amostras temporais: são obtidas em superfícies coletoras expostas ao efeito de uma aplicação, Permitem representar o tamanho e distribuição das gotas, em áreas pequenas, São mais usadas que as amostras espaciais pela simplicidade para serem usadas no campo e por dar informação sobre a densidade de cobertura.

As técnicas mais usadas para amostras espaciais são: Fotografia, olografia e difusão de luz através de um campo de gotas.

Para amostras temporais utilizam-se: celas e superfícies coletoras, arranjos de espectros ópticos e difusão de luz por uma gota.

#### 4.14 - SUPERFÍCIES COLETORAS

Muitos tipos de superfície coletoras têm sido provadas pelos pesquisadores. Goening [13] e outros vários autores mencionam o uso de celas com líquidos especiais, diversos tipos de papel, superfícies de aço, louça, materiais plásticos e camadas de óxido de magnésio.

Os líquidos mais utilizados são os óleos e outros hidrocarbonetos que apresentam baixa viscosidade, alta transparência e insolubilidade na água, características que permitem capturar, manter e observar em imersão as pequenas gotas que provêm de uma aplicação. As celas que contem a camada do hidrocarboneto devem ser translúcidas (vidro) para permitir a projeção "magnificada" das gotas, a fim de facilitar a medida do seu tamanho.

À respeito do uso de papéis coletores, uma ampla gama tem sido provada e alguns, como o papel de filme e os denominados Kromikote e Rogopov, são considerados de bom comportamento na medição de gotas. O uso de papéis requer o conhecimento do fator de expansão ou de sua determinação no laboratório.

As superfícies coletoras, a base de outros materiais não translúcidos, são usadas basicamente para a contagem de gotas e/ou para a determinação da recuperação do pesticida aplicado.

Goering [13] também estudou o efeito do tamanho e a posição das superfícies coletoras, num trabalho sobre o cálculo da "deriva" nas aplicações aéreas. Usou cartões de papel "mylar" de diferentes áreas, mas que mantinham uma relação comprimento-largura igual a dois. Não achou diferenças significativas na densidade de cobertura para os diferentes tamanhos dos cartões.

CAPÍTULO 5

METODOLOGIA

Este capítulo contém o procedimento para o dimensionamento do gerador de gotas e as técnicas empregadas na sua avaliação.

O projeto proposto só pretende introduzir, nos atomizadores costais motorizados, um sistema rotativo de produção de gotas, sem modificar as demais partes do equipamento convencional. Estes atomizadores consistem de um motor de dois ciclos, o qual aciona uma turbina radial. A corrente de ar gerada pela turbina é transportada por um duto no interior do qual o líquido proveniente do depósito é liberado e fracionado por ação pneumática.

Com o novo gerador em projeto, "tipo "micronair", busca-se substituir o atual sistema pneumático de produção de gotas por outro que, além de pressão pneumática, usa a força centrífuga para romper o líquido.

A idéia baseia-se na possibilidade de movimentar em pequeno rotor com a corrente de ar do atomizador, que segundo os manuais atinge até 110 m/seg com uma vazão de  $16 \text{ m}^3/\text{minuto}$  ao fluir por um duto que se afunila no extremo da saída, ficando com 0.053 m de diâmetro interno.

A unidade idealizada para gerar as gotículas consiste essencialmente de um rotor sobre o qual vai montado co-axialmente um pequeno cilindro de malha, solidário ao cubo do rotor, o qual deve lançar radialmente as gotículas na corrente de ar para serem divididas e transportadas. Basicamente a unidade é um aeromotor de fluxo axial localizado na saída do duto de ar.

## 5.1 - DIMENSIONAMENTO DO GERADOR DE GOTAS

### 5.1.1 - ÂNGULOS DO ROTOR

Rui Carlos Camargo Vieira [5], no seu livro sobre máquinas de fluxo axial e Betz [2], em seu estudo sobre pequenos modelos de aeromotores de eixo horizontal, assinalam que os máximos rendimentos (máximo trabalho) são obtidos quando o ângulo formado pela direção da velocidade relativa do vento com o plano de rotação é de  $45^\circ$  graus. Este critério será adotado, neste

estudo, e em adiante, o ângulo descrito denominar-se-á  $\theta$ .

Segundo Le Chapellier [19] para aeromotores, a cotangente de  $\theta$  ( $\text{ctg } \theta$ ) é igual à relação entre a velocidade tangencial dos extremos das pás e a velocidade do vento incidente:

$$\text{ctg } \theta = \frac{\omega R}{V}$$

onde:  $\omega$  = velocidade angular do rotor, rad/seg

$R$  = raio do rotor, m

$V$  = velocidade do vento incidente m/seg

A relação anterior é conhecida por Marier [21] e por Hütter [16] como relação de ápice ou de extremo "Tip ratio" e é um índice da capacidade do rotor para converter a velocidade de incidência em velocidade de rotação.

Segundo Le Chapellier [19],  $\theta$  é formado pela adição dos ângulos de ataque e penetração, os quais são importantes no dimensionamento do rotor:

$$\theta = \beta + \alpha$$

onde:  $\alpha$  = ângulo de ataque, formado pela velocidade relativa do vento com a corda do perfil

$\beta$  = ângulo de penetração ou calado, formado pela corda com o plano de rotação

A Fig. 11 apresenta um esquema dos ângulos, sobre um perfil arbitrado, onde:

$V$  = direção do vento incidente

$P_r$  = plano de rotação

$C$  = corda do perfil

$V_r$  = direção da velocidade do vento relativa ao perfil do rotor

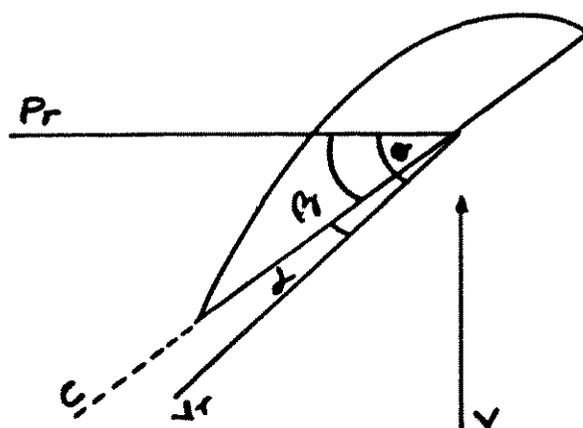


Fig. nº 11 - Esquema dos ângulos de penetração e de ataque

A direção de  $V_r$  indica que o vento não flui com o mesmo ângulo construtivo do perfil. O ângulo de ataque depende do tipo de perfil escolhido e de acordo com Bran e Zulcy [4] para o cálculo de máquinas de fluxo axial, seguindo a teoria da asa de sustentação se requer inicialmente conhecer a função

$$C_S = f(\alpha)$$

onde:  $C_S$  = coeficiente de sustentação

De acordo com os mesmos autores, a maioria dos perfis já estão padronizados e apresentam uma boa estabilidade para valores de  $C_S$  entre 0.2 e 1.2 e valores de  $\alpha$  entre 0 e 7 graus.

Le Chapellier dá um intervalo maior para o valor de  $\alpha$ , 0-13 graus.

Neste estudo, foi usado para  $\alpha$  um valor de 5 graus, correspondente ao ponto ótimo para um perfil Gottingem 428, de acordo com o gráfico para os coeficientes de sustentação e os ângulos de ataque dados por Bran e Zulcy [4].

Estabelecidos os valores de  $\theta = 45^{\circ}$  e  $\alpha = 5^{\circ}$ , resulta um ângulo  $\beta$  de  $40^{\circ}$ .

O valor de  $\beta$  coincide com o limite superior do intervalo  $35-40^{\circ}$  recomendado por Hewitt [15] para o ângulo de penetração das pás de micronair AU 3000 operando a 5000 RPM "condições normais".

### 5.1.2 - VELOCIDADE TEÓRICA DE ROTAÇÃO: $N_1$

Usando a equação de Le Chapellier [19], pode-se estimar a velocidade teórica,  $N_1$ , que atingiria o protótipo

$$\text{ctg } \theta = \frac{2\pi N_1 R}{V}$$

$$\theta = 45^{\circ}$$

$$V = 75 \text{ m/seg (medida com tubo de Pitot)}$$

$$R = 0.025 \text{ m (limite máximo imposto pelo diâmetro do duto de ar)}$$

$$N_1 = \frac{1 \times 75 \text{ m/seg}}{2\pi \text{ rad/rev} \times 0.025 \text{ m}} = 477 \text{ RPS}$$

O grau de aproximação entre a velocidade atingida pelo protótipo e o valor calculado dependem da magnitude das perdas ocasionadas pelas características aerodinâmicas do rotor.

As equações de Le Chapellier estão sendo usadas para o dimensionamento tentativo inicial do protótipo, mas a velocidade real do mesmo será determinada experimentalmente.

### 5.1.3 - RELAÇÃO DE RAIOS: $\lambda$

É a relação existente entre o raio do cubo e o raio

raio externo do rotor.

$$\lambda = \frac{r}{R}$$

$\lambda$ , segundo [5], pode obter-se em função do coeficiente de pressão  $\psi$

$$\lambda = (0.8\psi)^{1/2}$$

O coeficiente de pressão é uma característica adimensional cujo valor pode achar-se através da seguinte equação [4]:

$$\psi = \frac{2y}{u^2}$$

onde:  $y$  = trabalho específico, Joules/Kg ( $m^2/seg^2$ )  
 $u$  = velocidade tangencial do rotor, m/seg

Por sua vez,

$$y = \frac{P}{Q}$$

onde:  $P$  = potência eólica, Kw  
 $Q$  = vazão de ar, Kg/seg

A máxima potência eólica, para aeromotores, se determina com ajuda da seguinte equação [8,5]:

$$P = 0.6 \times \frac{1}{2} \rho AV^3 = 0.3 \rho AV^3$$

onde:  $\rho$  = massa específica do ar, Kg/m<sup>3</sup>  
 $A$  = área do círculo varrido pelo rotor, m<sup>2</sup>  
 $V$  = velocidade da corrente de ar, m/seg

O fluxo de ar será

$$Q = \rho AV$$

Logo  $y = \frac{0.3 \rho AV^3}{\rho AV} = 0.3 V^2$

Como  $V = 75 \text{ m/seg}$

então  $y = 0.3(75 \text{ m/seg})^2 = 1687.5 \text{ m}^2/\text{seg}^2 \text{ (Joules/Kg)}$

$$\psi = \frac{2y}{u^2}$$

$$u = \pi D N_1$$

sendo  $D = 0.05 \text{ m}$

$$N_1 = 477 \text{ RPS}$$

$$\psi = \frac{2 \times 1687.5 \text{ m}^2/\text{seg}^2}{\pi^2 \times 25 \times 10^{-4} \times 227529 \text{ m}^2/\text{seg}^2} = 0.60$$

portanto

$$\frac{r}{R} = (0.8 \times 0.6)^{1/2} = 0.69$$

Como  $R = 0.025 \text{ m}$  resulta  $r = 0.0173 \text{ m}$ , ou seja, que o diâmetro do cubo será  $0.0346 \text{ m}$ .

#### 5.1.4 - NÚMERO DE PÁS: Z

Segundo Marier [21] os aeromotores de alta rotação usam geralmente duas pás de material leve e um ângulo de ataque  $\alpha$  pequeno.

Neste projeto, testaram-se protótipos com rotores de 2 e 4 pás, apresentando melhor desempenho os primeiros ao atingir maior velocidade permitindo ademais melhor transporte das gotículas.

Para o protótipo em estudo, usaram-se duas pás  $Z = 2$ .

### 5.1.5 - PASSO DAS PÁS : t

Pode ser calculado em função do diâmetro médio e do número de pás, pela relação

$$t = \frac{\pi D_m}{Z} \quad [4]$$

onde:  $D_m$  = diâmetro médio ou semisuma dos diâmetros do cubo e do rotor

$$t = \frac{\pi(0.05 + 0.0346)/2}{2} = 0.066 \text{ m}$$

### 5.1.6 - COMPRIMENTO DA CORDA: L

Expressa-se geralmente usando a relação

$$L/t = K \quad [4]$$

onde: K = constante

Fizeram-se testes iterativos usando os seguintes valores para a relação: 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 e 0.7. A maior velocidade foi obtida para um valor máximo de  $L = 0.3 t$ . Este valor foi usado no protótipo definitivo.

$$L = 0.3 t$$

$$L = 0.3 \times 0.066 \text{ m} = 0.02 \text{ m}$$

A espessura do perfil foi de 0.003 m.

Na construção do rotor foram testados três tipos de materiais: plástico, nylon e PVC. Finalmente, se reformou e adaptou as exigências do projeto, um modelo comercial, feito em plástico.

#### 5.1.7 - CILINDRO DE MALHAS

O diâmetro do cilindro está limitado pelo diâmetro do cubo, podendo no máximo ser igual a este.

No protótipo se usou um cilindro de 0.0254 m (1") de diâmetro, sendo um pouco menor que o cubo do rotor, a fim de ter suficiente espaço para fixá-lo nele. O cilindro foi construído em malha de nylon com um comprimento arbitrado de 0.032 m. Para evitar deformação, foi reforçado com uma pequena estrutura cilíndrica feita em tubo de alumínio estuado.

#### 5.1.8 - BICO DE EMISSÃO

Consistiu de uma câmara cilíndrica de 0.007 m de diâmetro e 0.005 m de comprimento, alimentada pela base e com um furo lateral para dirigir o líquido até o cilindro de malha. A câmara foi construída no mesmo eixo do rotor.

#### 5.1.9 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO PROTÓTIPO

- Número de pás	2
- Ângulo de penetração	40°
- Diâmetro máximo do rotor	0.050 m
- Diâmetro do cubo	0.030 m
- Diâmetro do cilindro	0.0254 m
- Comprimento do cilindro	0.032 m
- Rolamento de esferas	0.026 m $\phi$ externo 0.009 m $\phi$ interno
- Comprimento total	0.048 m
- Peso total	0.0441 Kg

As figuras do Apêndice I mostram os detalhes do gerador de gotas.

### 5.1.10 - VELOCIDADE DE ROTAÇÃO MÍNIMA REQUERIDA: N<sub>2</sub>

Como se deseja obter, com os nebulizadores costais motorizados, espectros de gotas similares aos logrados com o micronair AU 3000, operando a 5000 RPM, se requer portanto que o gerador de gotas projetado atinja uma aceleração centrífuga igual à desenvolvida pelo micronair à velocidade de referência.

O modelo AU 3000 tem geralmente cilindro de 0.1524 m (6") de diâmetro e o protótipo leva um cilindro de 0.0254 m (1") de diâmetro. Dadas as anteriores condições, podemos calcular a velocidade de rotação mínima, N<sub>2</sub>, que deve atingir o gerador projetado.

$$4\pi^2(5000 \text{ RPM})^2 \times 0.0762 \text{ m} = 4\pi^2 N_2^2 \times 0.0127 \text{ m}$$

$$N_2 = 5000 \sqrt{6} = 204 \text{ RPS}$$

A velocidade mínima requerida é aproximadamente 43% da teórica (477 RPS).

## 5.2 - TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO

Realizaram-se dois tipos de avaliações: de funcionamento e de desempenho na produção de gotículas.

### 5.2.1 - AVALIAÇÃO DE FUNCIONAMENTO

Teve como finalidade comprovar os níveis de velocidade atingidos pelo gerador de gotas.

O procedimento consistiu em determinar a velocidade da corrente de ar, na saída, em função da velocidade de rotação do motor iniciando com 5000 RPM e chegando até 7000 RPM com intervalos de 500 RPM entre duas leituras sucessivas.

A rotação do motor se determinou com um estroboscópio eletrônico e a da corrente de ar com um tubo de Pitot e também com um velocímetro.

Posteriormente, se determinou, com o estroboscópio a velocidade de rotação do gerador de gotas correspondente a cada leitura de velocidade na corrente. Os dados obtidos analisam-se no capítulo de resultados.

### 5.2.2 - AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE GOTÍCULAS

#### 5.2.2.1 - O Tamanho das gotículas e o Fator de Espalhamento F

Os testes foram feitos no laboratório da seção de máquinas de implantação de culturas e aplicação de defensivos "SMICAD", do Instituto Agrônomo de Campinas.

A avaliação do tamanho das gotículas se fez por métodos indiretos, aplicando líquidos com traçadores sobre coletores de amostras, de papel Kromikote, para depois medir neles com o microscópio os diâmetros das manchas e, usando um fator de correção, calcular os diâmetros das gotas.

O fator de correção é igual ao inverso do fator de espalhamento ou expansão, F, que é definido como a relação entre o diâmetro da mancha e o diâmetro real da gota.

Vários pesquisadores, entre eles Hewitt [15], têm determinado um valor constante de 1.163 para o fator de espalhamento de qualquer solução líquida aplicada sobre camadas de óxido de magnésio. Assim, o fator de correção para o óxido de magnésio será de 0.86 (1/1.163), ou seja, que o diâmetro real da gota será igual a 0.86 vezes o diâmetro da mancha na camada de óxido de magnésio.

O fator de espalhamento para o papel Kromikote se de

terminou utilizando um gerador de gotas de tamanho uniforme, consistente num disco de plástico de velocidade regulável, movimentado por motor elétrico de corrente contínua. O disco lança a través de diminutos canais radiais, finos ligamentos de líquido que dividem-se em gotículas uniformes.

Para diferentes velocidades do disco, recolheram - se simultaneamente amostras em papel Kromikote e em coletores de vidro cobertos com uma camada de óxido de magnésio. Nos Kromikotes mediu-se o diâmetro das manchas e com o magnésio se determinou o diâmetro real das gotas do espectro uniforme. Assim, foi possível determinar o fator de espalhamento para o Kromikote.

$$F = \frac{\text{diâmetro da mancha em Kromikote}}{\text{diâmetro real da gota}}$$

Seria ideal usar diretamente o óxido de magnésio na avaliação de aplicadores de defensivos, porém é imprático, devido à sua rápida e fácil deterioração, além de ser custoso, comparado com o Kromikote.

#### 5.2.2.2 - Coleta de Amostras

Os tratamentos estudados resultaram da combinação de 5 velocidades de rotação do gerador de gotas com 4 distâncias de coleta de amostras, para cada um dos dois tipos de cilindro de malha usados.

A continuação se especificam os detalhes de cada variável:

- velocidades do gerador (RPM): 7742, 8620, 9645, 10599 e 11775 correspondentes às seguintes velocidades (RPM), do motor: 5000, 5500, 6000, 6500 e 7000.
- distância de coleta de amostras (m): 2, 4, 6 e 8, a partir do gerador.
- cilindros de malha de 36 e 64 furos/cm<sup>2</sup>.

Como líquidos de aplicação, usaram-se para baixo volume (BV), água + rodamina 0.4%, 28,8 litros por hectare, e para ultra baixo volume (UBV), óleo agrícola (Spray-oil) 60% + nigrosina 0.4%, 5 litros por hectare.

Para o cálculo do volume por hectare, se aplicou a equação fornecida por Weber [27] para nebulizadores costais

$$V_h = \frac{q \times 600}{f \times v}$$

onde:  $V_h$  = volume a aplicar por hectare, litros  
 $f$  = largura da faixa de aplicação, metros  
 $q$  = vazão do nebulizador, litros/minuto  
 $v$  = velocidade de deslocamento, Km/hora, normalmente 2 a 3.

$f$  varia entre 6 e 10 m para nebulizadores costais motorizados.

Nos cálculos, assumiram-se  $f = 6$  m e  $v = 2.5$  Km/h.

O valor de  $q$  se determinou com uma proveta, estando o motor a 7000 RPM, o depósito cheio da solução líquida e tendo o bico de saída em posição horizontal a 0.60 m abaixo do nível da solução.

As médias de 5 leituras para cada solução líquida foram:

Solução	$q$ , litros/minuto
água + rodamina	0.72 (sem restritor)
óleo agrícola + nigrosina	0.125 (com restritor)

O orifício restritor de 0.0012 m de diâmetro foi localizado na mangueira que leva o líquido do depósito ao bico.

As aplicações se fizeram fixando o motor numa mesa e

colocando o gerador de gotas em posição horizontal a uma altura de 1 m sobre o nível do piso.

Foram coletadas amostras verticais e horizontais. Nas primeiras, o eixo longitudinal do Kromikote ficou perpendicular ao eixo da corrente de ar e nas segundas o eixo longitudinal ficou paralelo ao eixo da mesma corrente.

As dimensões de cada Kromikote foram 0.075 m de comprimento e 0.025 m de largura.

Para cada distância e tipo de amostra, colocaram-se três Kromikotes, por repetição, ficando um deles na linha do eixo da corrente de ar e os outros um a cada lado a 0.20 m de distância do central.

Os Kromikotes foram fixados sobre madeira e colocados no piso para as amostras horizontais e numa tela a 1 m de altura para as amostras verticais.

Os três coletores de amostras correspondentes a uma mesma distância se juntaram, formando um só plano para nele medir, em forma aleatória, 100 manchas com o microscópio usando o objetivo 10x. Foram medidas todas as manchas que se encontraram no campo de visão da objetiva, durante o percurso sobre o plano. A população de gotas correspondente a cada tratamento se agrupou em classes com um intervalo interclasses de 50 micras.

A informação obtida se processou pelo método da média das classes, usando como média de população a média da classe que constitui 70% da amostra.

O SMICAD facilitou o programa que tem elaborado para este tipo de análise, usando a calculadora Olivetti programma 101.

Os dados alimentados para a análise das manchas correspondentes a cada tratamento são as seguintes:

- Fator de correção para o diâmetro médio da população de manchas.
- Diâmetro médio de cada classe, em micras.
- Número de manchas por classe.

Os resultados impressos na primeira fase são:

- diâmetro volumétrico médio, corrigido, por cada classe, em micras.
- volume acumulado por classes, em micras cúbicas.
- número acumulado de gotas.

Ao realimentar a máquina com os dados anteriores, se obtém a seguinte informação:

- % acumulada do volume, por classe, com relação ao volume total.
- % acumulada da população, por classe, respeito a população total.

Com estas porcentagens e com o diâmetro médio de cada classe, se traçam as curvas de volume e de população, e a partir delas determinam-se respectivamente o diâmetro volumétrico mediano DVM, e o coeficiente de homogeneidade CH

$$C.H. = \frac{\text{diâmetro médio do } 25\% \text{ da população}}{\text{diâmetro médio do } 75\% \text{ da população}}$$

Para as curvas, se usou um papel com a escala vertical logarítmica e a horizontal com distribuição normal, devido a que tanto o volume como a população tendem a apresentar este tipo de distribuição. O diâmetro volumétrico médio da população foi obtido a partir do volume total usando a seguinte equação:

$$DV = \left( \frac{\sum di^3 ni}{n} \right)^{1/3} \quad [1]$$

onde: DV = diâmetro volumétrico médio da população  
di = diâmetro volumétrico médio de cada classe

$n_i$  = número de gotas no intervalo de classe

$n$  = número total de gotas

#### 5.2.2.3 - Análise de variância para o diâmetro volumétrico médio

Usou-se o método de cálculo da soma de quadrados a partir dos totais de classe, tal como é sugerido por Panse V.G. e Sukhatme P.V. [24].

#### 5.2.2.4 - Determinação da Cobertura

O número de gotas por  $\text{cm}^2$  se determinou projetando na parede áreas de  $1 \text{ cm}^2$  dos Kromikotes, fazendo projeção de três áreas por tratamento, para obter um valor médio. Uma cobertura adequada para o controle de pragas e doenças deve ter 50 ou mais gotas por  $\text{cm}^2$ , segundo [7].

CAPÍTULO 6

MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Foram usados os seguintes materiais e equipamentos na construção e/ou avaliação dos protótipos de geradores de gotas.

### 6.1 - MATERIAIS

- Eixos de plástico, PVC e nylon de 0.06 m de diâmetro, 0.20 m de cada um
- Eixos de bronze e teflon de 0.03 m de diâmetro, 0.20 m de cada um
- tubo de alumínio de 0.0254 m (1") de diâmetro. 0.50 m
- Malhas de nylon de 36 e 64 furos/cm<sup>2</sup>, 0.25 m<sup>2</sup> de cada uma
- Rolamentos de esferas Z-K-L de 0.026 m de diâmetro externo e 0.009 m de diâmetro interno, 6 unidades
- Cola "super-bonder" (cianocrilato), 2 bisnagas
- Lixa de água nº 400, 10 unidades
- Óleo agrícola (Spray-oil), 20 litros
- Rodamina , 200 gramas
- Nigrosina , 200 gramas
- Água , 40 litros
- Gasolina , 35 litros
- Óleo, 2 tempos , 3 litros
- Papel Kromikote , 50 coletores de 0.075 m de comprimento e 0.025 m de largura.
- Óxido de Magnésio , 50 coletores de vidro com uma camada de óxido de magnésio

## 6.2 - EQUIPAMENTOS

- Velometro Alnor - Modelo 6030 DP
- Tubo de Pitot, marca Dawyer, com escala para pressão até 0.5 m de coluna de água e para velocidade até 95 m/seg.
- Gerador uniforme de gotas, construído no SMICAD
- Microscópio American optical
- Termohigrógrafo R. Fuess nº E-8255
- Estroboscópio eletrônico Frata, escala  $0-18 \times 10^3$  RPM
- Retroprojektor
- Bomba Hatsuta, modelo S-40
- Atomizador (pulverizador) Hatsuta, modelo AM-12 (novo)
- Torno mecânico Imor - modelo P-400-II
- Fressadora universal Kondia - modelo F.V.I.

Na Fig. nº 1 apresentam-se alguns dos equipamentos usados.

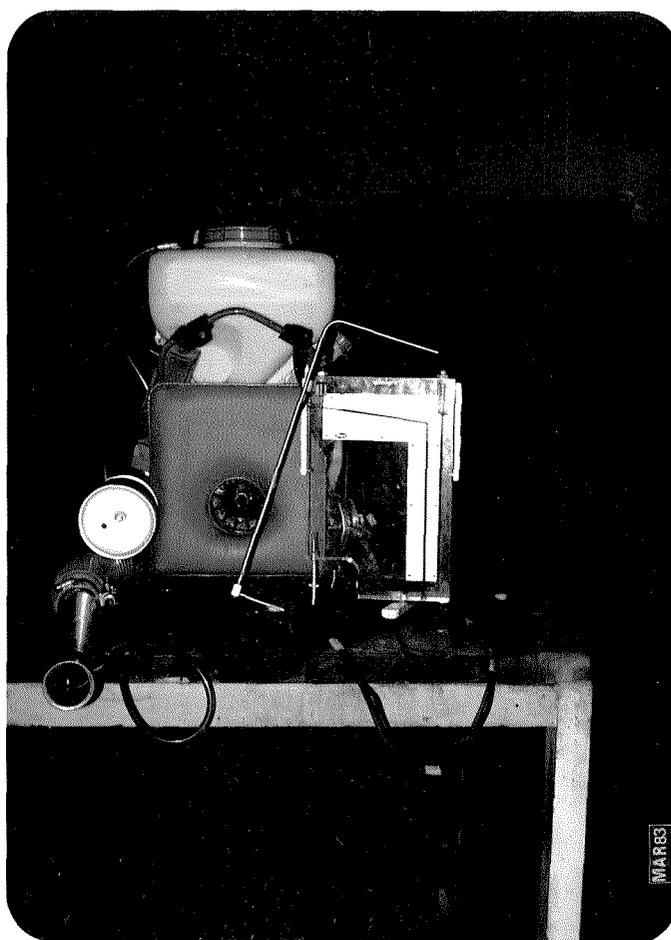


Fig. Nº 1 - Atomizador, estroboscópio e tubo de Pitot utilizados neste estudo

CAPÍTULO 7

RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 - VELOCIDADE ATINGIDA PELO GERADOR DE GOTAS

A Tabela 1 contém as velocidades atingidas pela corrente de ar, na saída, e pelo rotor do gerador de gotas, para diferentes velocidades de rotação do motor.

Tabela 1 : Velocidades do motor, do ar e do gerador de gotas

RPM-motor	Veloc. do ar (m/seg)*	RPM-gerador*
5000	50.30	7742
5500	55.15	8620
6000	63.10	9645
6500	68.75	10599
7000	75.35	11775

\* Média de 30 leituras

Temperatura do local = 23°C ; umidade relativa = 75%

O gráfico Nº 1 mostra a curva de velocidade da corrente de ar em função da rotação do motor. A velocidade da corrente, no intervalo estudado, variou de 50 para 75 m/seg (180 - 270 Km/h), valores que podem ser considerados altos comparados com a velocidade de deslocamento dos aviões nas aplicações de defensivos agrícolas com "micronair", 40 - 56 m/seg (140 - 200 Km/h).

A curva da velocidade atingida pelo gerador de gotas em função da velocidade da corrente de ar apresenta-se no gráfico Nº 2. Observe-se que o valor máximo foi de 11775 RPM, bastante próximo ao valor requerido para obter igual aceleração centrífuga que o micronair AU 3000 sob as condições referidas na metodologia.

A curva contínua é experimental e a curva tracejada corresponde à equação determinada pelo método dos mínimos quadra

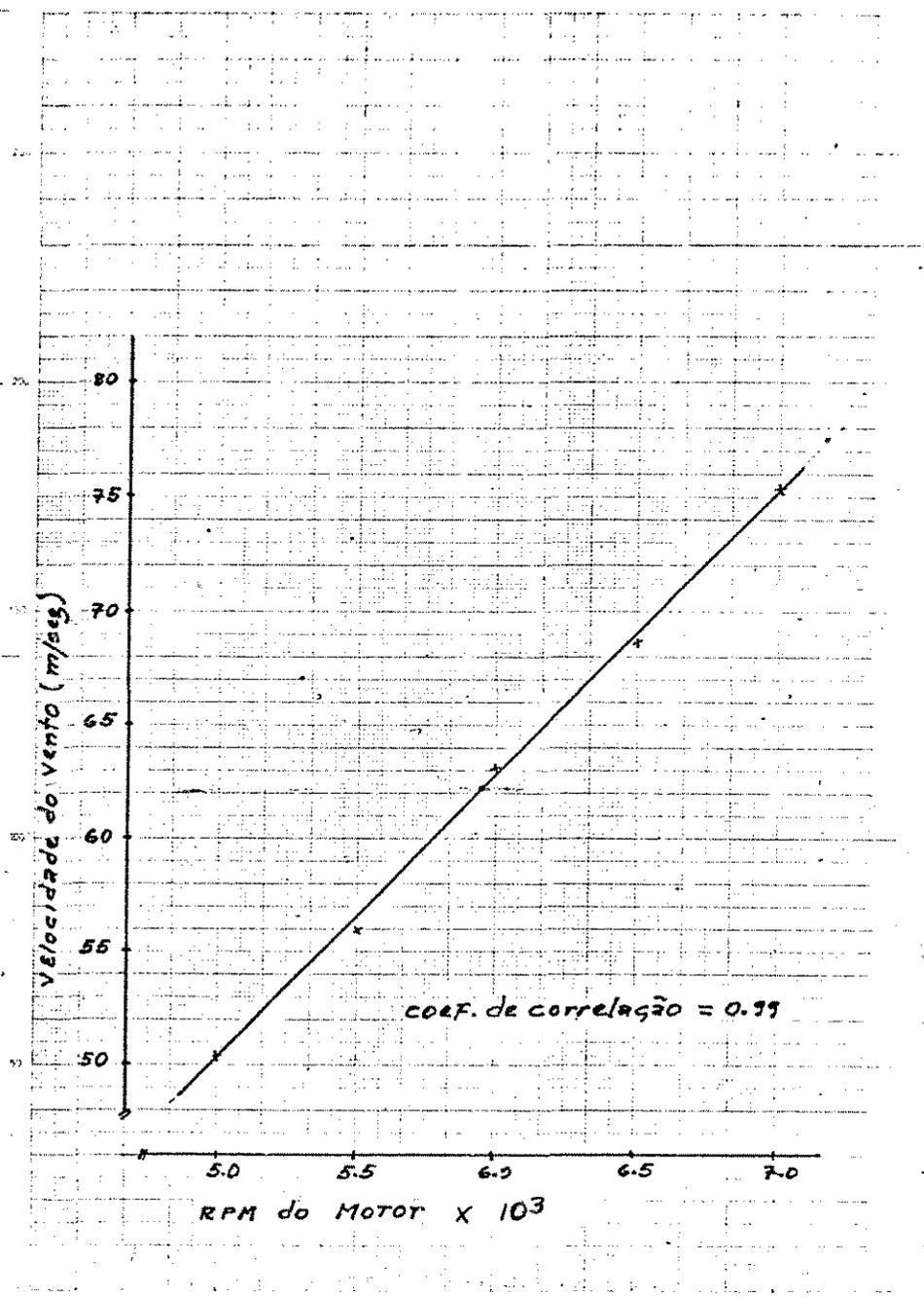


Gráfico Nº 1 : Velocidade da corrente de ar em função da velocidade de rotação do motor

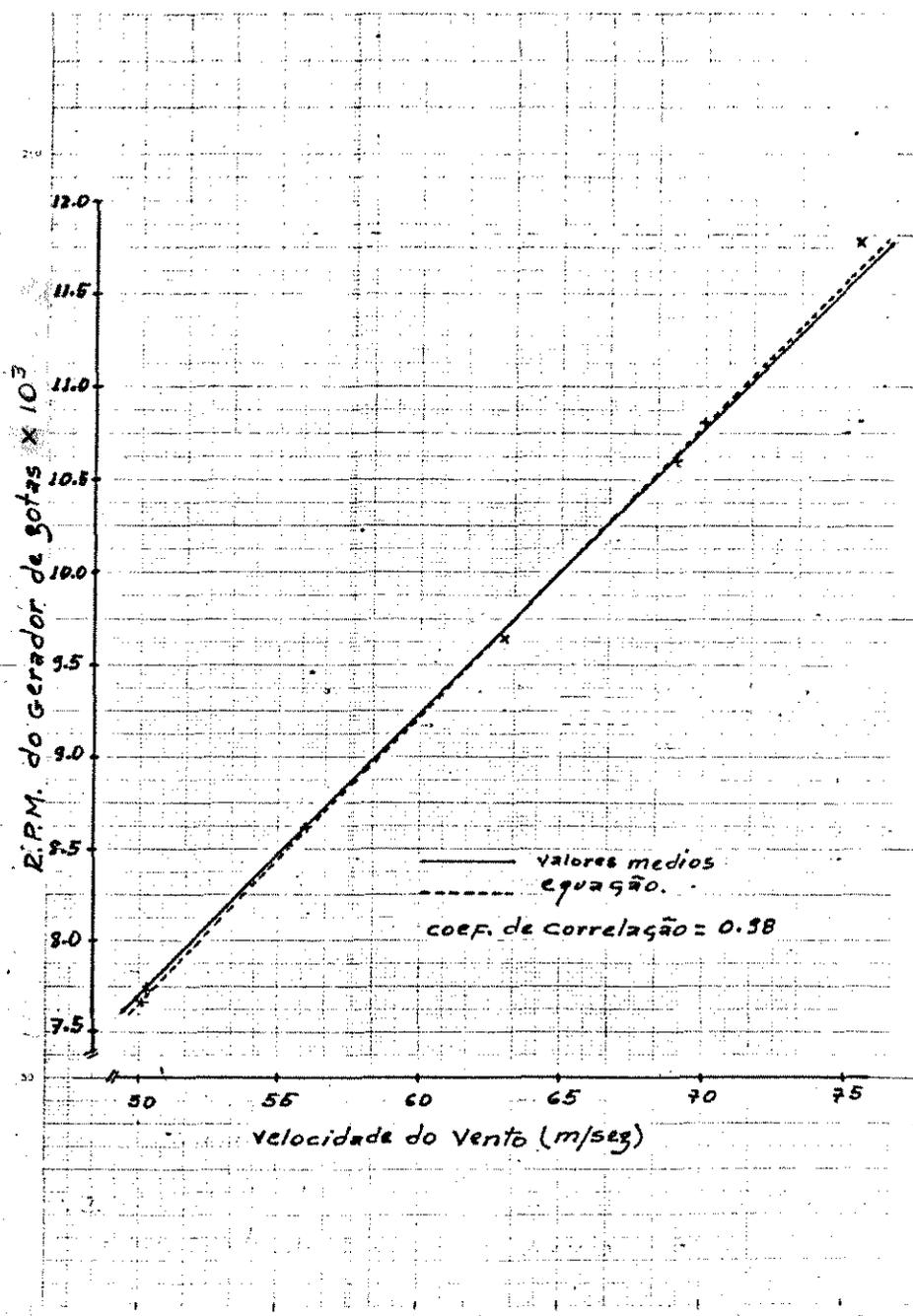


Gráfico Nº 2 : Velocidade de rotação do gerador de gotas em função da velocidade da corrente de ar

dos. A equação obtida é:

$$V_G = -192.8 + 157.40 V$$

onde:  $V_G$  = velocidade do gerador, RPM

$V$  = velocidade da corrente de ar, m/seg

Das duas curvas referidas, pode-se deduzir que tanto a velocidade da corrente de ar como a rotação do gerador apresentam uma excelente correlação linear com a velocidade de rotação do motor, quando esta varia entre  $5 \times 10^3$  e  $7 \times 10^3$  RPM.

No gráfico Nº 2 pode-se apreciar que a curva correspondente à equação está praticamente sobreposta com a curva experimental.

## 7.2 - O FATOR DE ESPALHAMENTO

Seguindo o procedimento descrito na metodologia, determinaram-se os valores de F para papel Kromikote e soluções de água + rodamina 0.4 %, e óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, tabela 2.

Tabela 2 : Fator de espalhamento para água + rodamina e óleo agrícola + nigrosina, em papel Kromikote

VELOC.DISCO PLÁSTICO	$\phi$ da mancha(micras)*		$\phi$ da gota(micras)*		F	
	①	②	①	②	①	②
1	105	120	82	61	1.28	1.97
2	130	153	99	81	1.31	1.89
3	210	204	151	113	1.39	1.81
4	320	284	215	161	1.49	1.76
5	450	371	280	217	1.61	1.71

\* Média de 100 leituras

① água + rodamina

② óleo agrícola + nigrosina

A velocidade do disco plástico que gera gotas uniformes não foi preciso medi-la. Se iniciou com a máxima rotação, posição 1, e foi diminuindo-se a velocidade para produzir gotas maiores.

Geralmente o valor de F é maior que a unidade, devido a que o diâmetro da mancha é maior que o da gota respectiva.

Para um mesmo líquido e superfície objetivo, o valor de F depende do diâmetro da gota (esfera) e do ângulo  $\delta$  de contato com a superfície [1]. Este ângulo é formado pela superfície com a tangente à gota no ponto de contato.

$$F = f(de, \delta)$$

Assumindo que as gotas são pequenas esferas, pode-se dizer que:

$$\frac{1}{6} \pi de^3 = \frac{1}{4} \pi E_g dc^2$$

onde:  $de$  = diâmetro da gota (esfera)

$dc$  = diâmetro da mancha (círculo)

$E_g$  = espessura da gota imediatamente depois do contato com a superfície

Por definição de F:

$$dc = F \times de$$

então, 
$$\frac{1}{6} \pi de^3 = \frac{1}{4} \pi E_g F^2 de^2$$

logo 
$$F = 2 \left( \frac{de}{6E_g} \right)^{1/2}$$

onde se verifica a relação que existe entre F, o diâmetro da gota e a espessura da mesma. Segundo Bernacki, quanto maior for o

ângulo de contato, maior é a espessura da gota e, em consequência, menor o valor de F. As curvas para os fatores de espalhamento das duas soluções líquidas usadas se apresentam nos gráficos N° 3 e N° 4 .

Ao analisar o gráfico N° 3, observa-se que o fator de espalhamento cresce com o aumento do diâmetro das manchas e neste caso específico variou entre 1.23 e 1.58 quando as manchas aumentaram seu diâmetro de 50 para 400 micras. No gráfico n° 4, o fator de espalhamento apresenta um comportamento diferente , decrescendo seu valor de 1.96 para 1.70 quando as manchas aumentaram de 50 para 400 micras. Os dois fenômenos podem ser explicados de acordo com o equacionamento anterior, tendo em conta que gotas maiores produzem manchas maiores. Quando se aumentou o diâmetro das gotas, o valor da relação de  $E_g$  cresceu para a água e decresceu para o óleo, o que significa que as gotas de óleo sofreram menor deformação relativa com o aumento do diâmetro aumentando o valor relativo de  $E_g$  e fazendo decrescer o valor de F. Em outros termos, o ângulo de contato  $\delta$  foi maior ao aumentar o diâmetro, para o caso do óleo. Com a água, aconteceu o processo contrário.

As curvas do fator de espalhamento são usadas quase exclusivamente para a determinação indireta dos diâmetros das gotas. Basta entrar nelas com os valores dos diâmetros das manchas. Para achar os valores correspondentes de F a fim de aplicar a seguinte equação

$$\phi \text{ gota} = \frac{1}{F} \phi \text{ da mancha}$$

Porém, a partir das curvas também é possível predizer o comportamento, em relação ao diâmetro das gotas, do ângulo de contato e da espessura dos depósitos líquidos formados pelas gotas, uma vez que são conhecidas as relações existentes entre estes parâmetros e o fator de espalhamento.

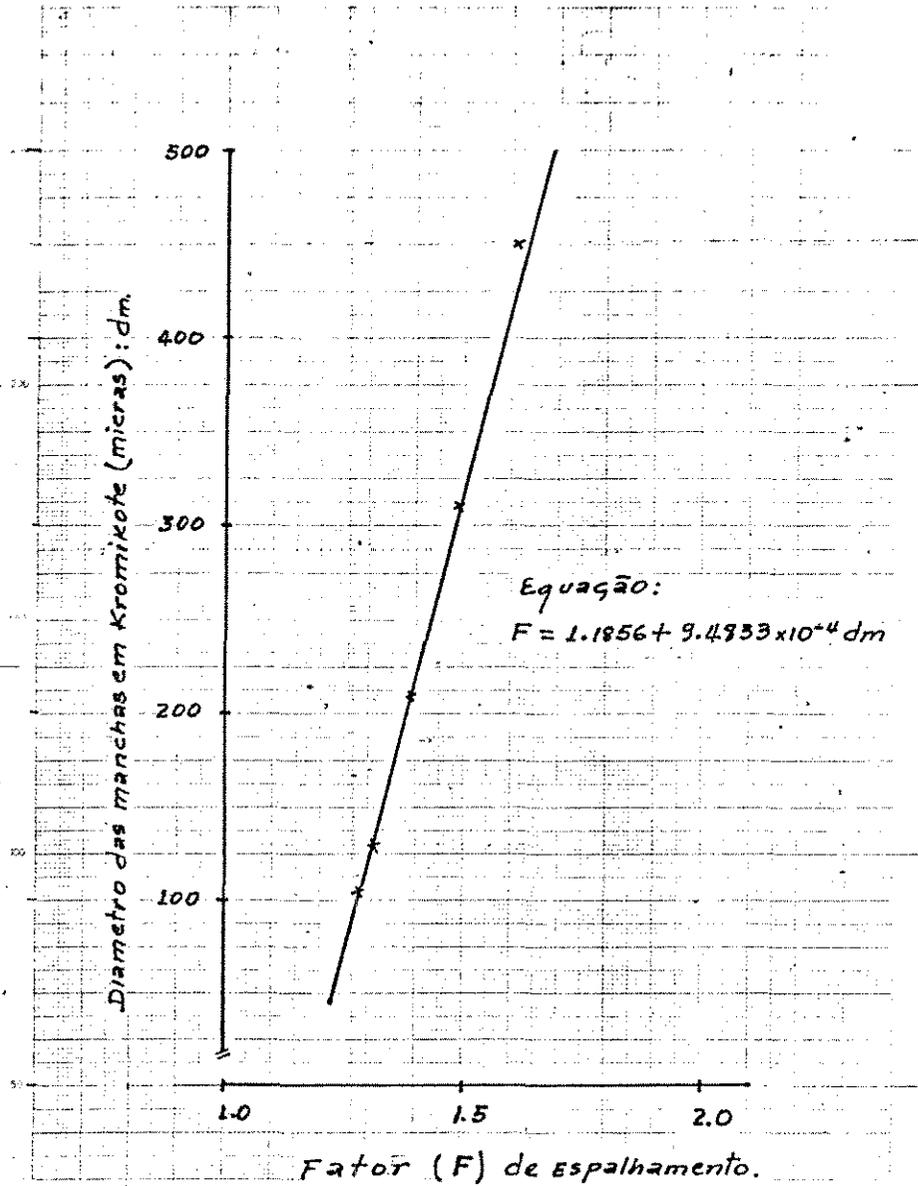


Gráfico Nº 3 : Fator de espalhamento F para água + rodamina 0.4%, em papel Kromikote

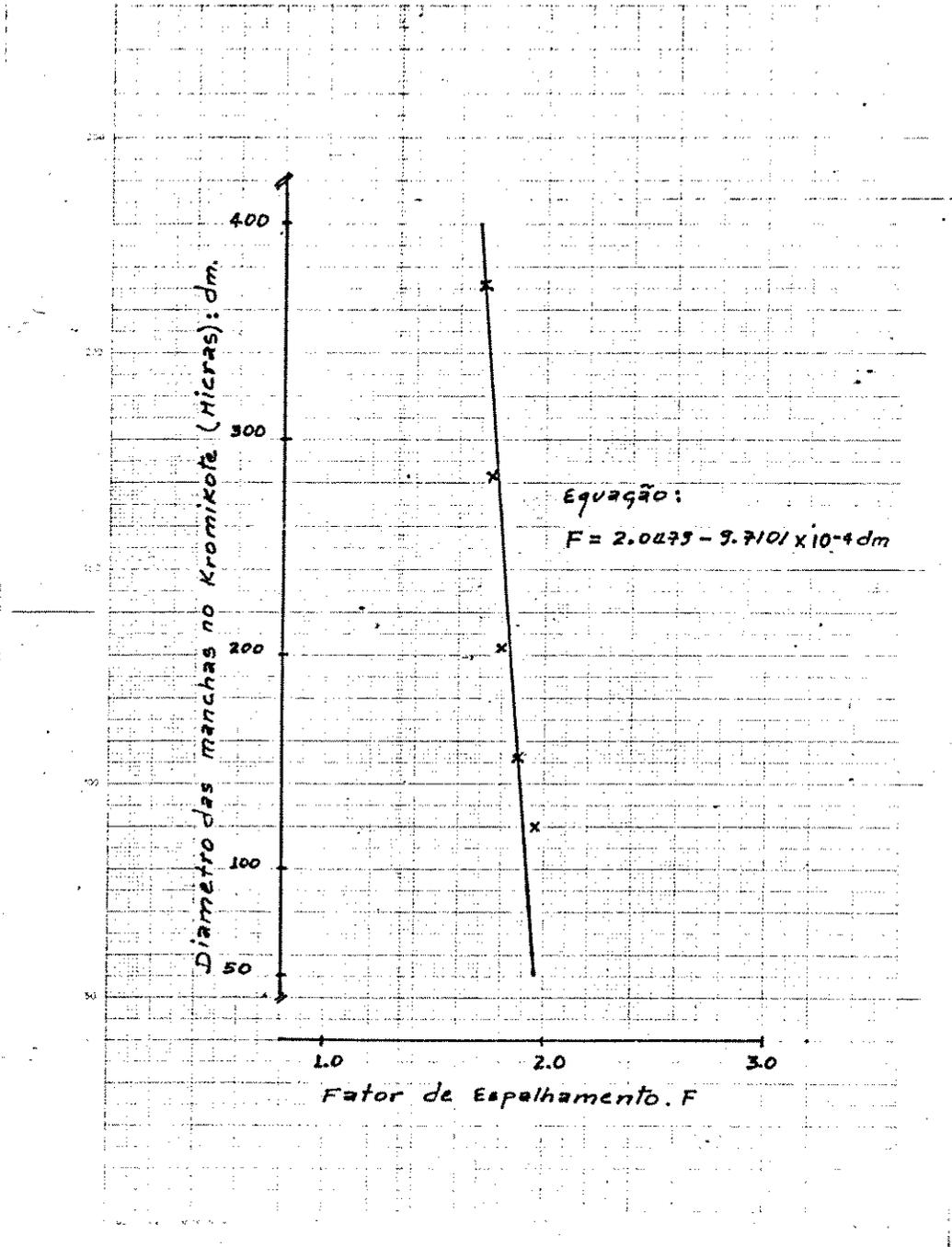


Gráfico Nº 4 : Fator de espalhamento F, para óleo agrícola (Spray-oil) 60% + Nigrosina 0.4%, em papel Kromikote

### 7.3 - TAMANHO DAS GOTÍCULAS

Os testes foram realizados com temperatura entre 20 e 22°C e umidade relativa entre 82 e 79%. O diâmetro da mancha corresponde ao tamanho que tem a gota no momento de atingir a superfície "objetivo", havendo já sofrido redução devida à evaporação. Portanto, o tamanho real da gota produzida é maior.

O Departamento Técnico da Ciba-Geigy (Suíça) recomenda compensar as perdas por evaporação quando a umidade relativa do meio de trabalho é menor de 60%.

As gotas pequenas são mais afetadas pela evaporação que as grandes, devido a que sua relação superfície - volume é maior.

Considerando as gotas como pequenas esferas, resulta

$$\frac{\pi D^2}{1/6 \pi D^3} = 6/D$$

Esta relação será maior quanto menor for o diâmetro da gota e explica porque a taxa de evaporação é muito alta para as gotas pequenas.

Neste trabalho, omitiu-se a correção do diâmetro das gotas devido às perdas causadas pela evaporação, por não dispor de equipamento para a determinação de amostras espaciais nem de tubos capilares adequados para produzir, em forma controlada, gotas de tamanho aproximado às emitidas pelo gerador testado, a fim de medir no laboratório a taxa de evaporação usando as metodologias indicadas na revisão bibliográfica.

Para reduzir o erro, trabalhou-se com alta umidade relativa em todas as determinações de diâmetros nesta pesquisa.

Convém lembrar que as duas soluções líquidas usadas foram: água + rodamina 0.4% para aplicações a baixo volume (BV),

28.8 litros/hectare e óleo agrícola (Spray-oil) 60% + nigrosina 0.4% para aplicação a ultra-baixo volume (UBV), 5.0 litros / hectare. A escolha da água para BV e do óleo para UBV fez-se com base nas características físicas que os dois líquidos apresentam e que são de interesse na aplicação de agroquímicos, tais como a volatilidade, a tensão superficial e a densidade. A rodamina e a nigrosina foram utilizadas como traçadores.

Com as informações de cada ensaio, foram traçadas as curvas de volume e população de gotas. Os gráficos Nº 5 e Nº 6 mostram as curvas correspondentes a dois tratamentos e a tabela 3 contém os parâmetros tirados destas curvas.

Tabela 3 : Parâmetros característicos para aplicações de água + rodamina e óleo agrícola + nigrosina, usando a malha de 36 furos/cm<sup>2</sup> no gerador, 11775 RPM e distância de amostragem horizontal de 6 m.

Tipo de Parâmetro	Valores (micras)	
	①	②
Intervalo de variação	19 - 134	12 - 81
φ de 25% da população	28	15
φ de 50% da população	45	24
φ de 75% da população	66	32
Coefficiente de Homogeneidade	0.42	0.47
φ volumétrico mediano	80	40
φ volumétrico mediano*	80	42

\* Obtido a partir do volume total usando a equação indicada na metodologia

① água + rodamina

② óleo agrícola + nigrosina

Dos parâmetros anteriores, os mais importantes são:

- O intervalo de variação: ele permite conhecer os limites de tamanho entre os quais estão as gotas do espectro.

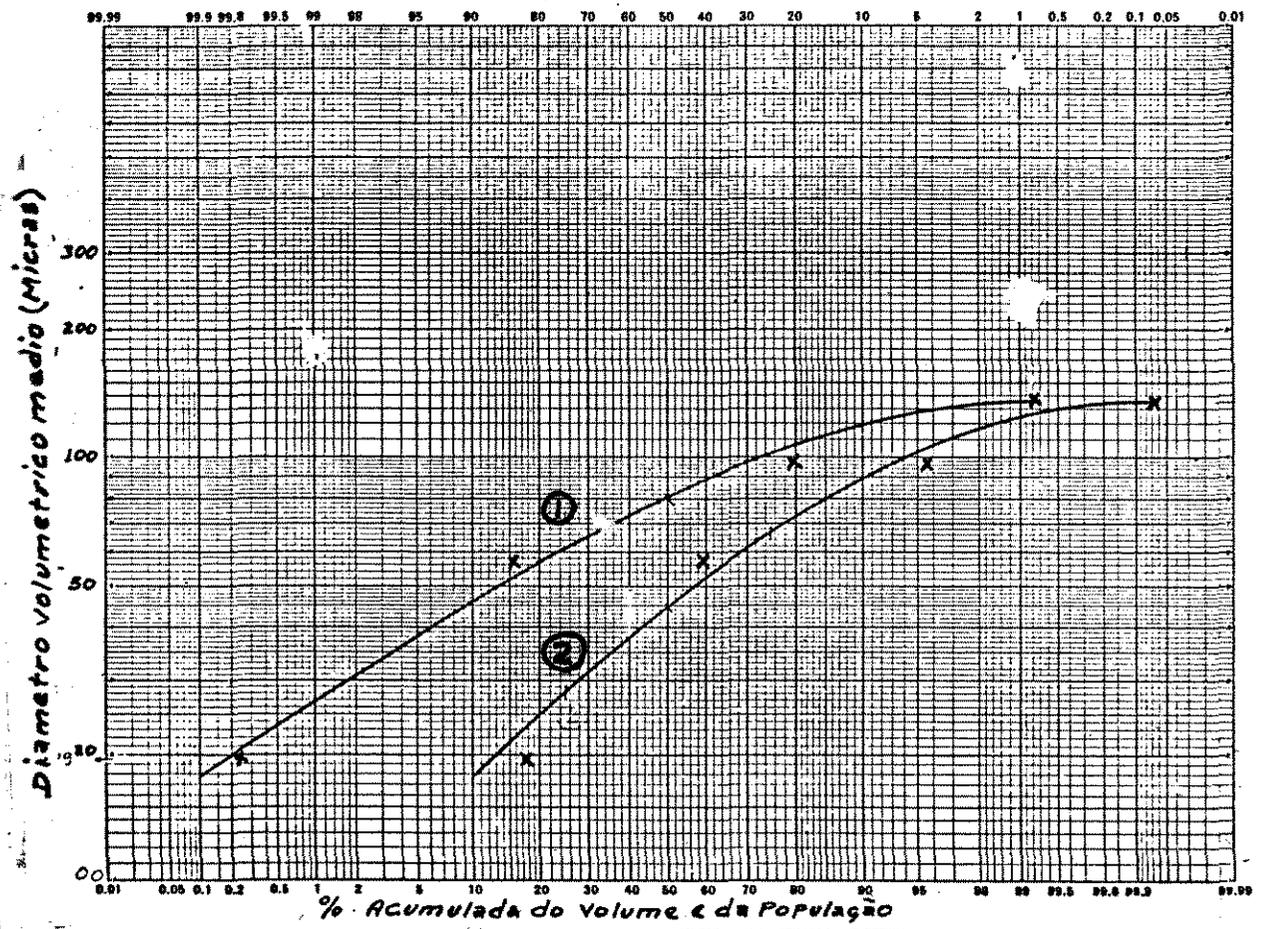


Gráfico Nº 5 : Curvas de volume ① e população ② para água + rodamina 0.4%, 11775 RPM do gerador de gotas malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

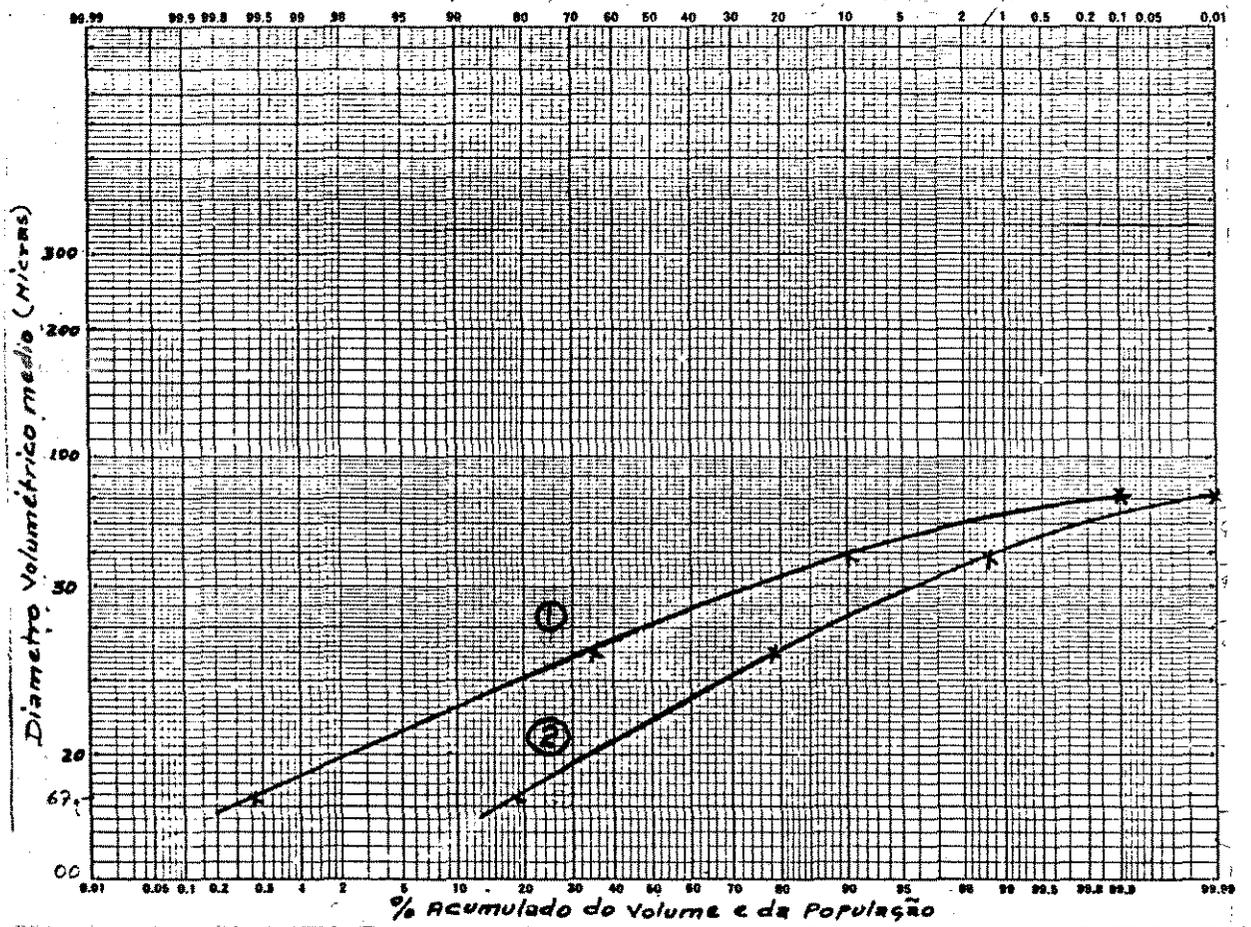


Gráfico Nº 6 : Curvas de volume ① e população ② para óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, 11775 RPM do gerador de gotas, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

- Os diâmetros de 25 e 75% da população: com eles, calcula-se o coeficiente de homogeneidade que é um indicador da uniformidade do espectro. Quanto mais próximo à unidade o valor do coeficiente, melhor é a uniformidade do espectro. Valores inferiores a 0.3 indicam espectros inadequados para fins agrícolas.
- O diâmetro volumétrico médio: serve como ponto de referência para a calibração dos equipamentos de aplicação.

No Apêndic II encontram-se as tabelas com os parâmetros tirados das curvas de população e volume, para todos os tratamentos, com exceção dos correspondentes às distâncias de 2 e 8 m. Para 8 m, as amostras não atingiram a cobertura mínima proposta de 50 gotas/cm<sup>2</sup> e para 2 m, as amostras verticais apresentaram grandes deformações das manchas, devido ao forte impacto resultante da maior velocidade que as gotas possuem a essa distância.

No Apêndice III incluem-se as curvas de volume e população para os tratamentos com distância de amostragem de 6 m.

Observando-se as curvas de volume e população do Apêndice III e as tabelas do Apêndice II que contêm os parâmetros dos espectros das aplicações, é possível evidenciar os seguintes fatos:

- O coeficiente de homogeneidade depende das tangentes à curva de população nos pontos correspondentes ao 25 e 75% da população.

Se:  $x_1$  = abcissa para o ponto da curva correspondente a 25% da população  
 $K_1$  = abcissa da interseção da tangente à curva no ponto de 25% da população com o eixo das abcissas  
 $\varphi_1$  = ângulo formado pelo eixo das abcissas com a tangente à curva no ponto de 25% da população

$x_2$  = abcissa para o ponto da curva correspondente  
75% da população

$K_2$  = abcissa da interseção da tangente à curva no ponto  
do 75% da população com o eixo das abcissas

$\varphi_2$  = ângulo formado pelo eixo das abcissas com a tangente  
à curva no ponto do 75% da população

então o coeficiente de homogeneidade será:

$$C.H. = \frac{\text{ordenada (diâmetro) para o 25\%}}{\text{ordenada (diâmetro) para o 75\%}} = \frac{(x_1 K_1) \text{tg } \varphi_1}{(x_2 K_2) \text{tg } \varphi_2}$$

$K_1$  e  $K_2$  podem ser negativos.

De acordo com a equação anterior, uma variação na inclinação da curva de população no intervalo entre 25 e 75% da população afeta o valor do coeficiente de homogeneidade.

O afastamento das curvas na base depende da distribuição por tamanhos da população. Um número elevado de gotículas pequenas no espectro representa uma alta porcentagem da população total e uma baixa porcentagem do volume total, o que se traduz em afastamento das curvas.

Ao analisar o diâmetro volumétrico médio nas tabelas do Apêndice II encontra-se para as aplicações a ultra baixo volume (UBV) uma variação entre 40 e 90 micras, correspondendo ao menores valores às maiores rotações do gerador.

Os valores extremos deste intervalo são bem menores que os do estabelecido por Hewitt para este tipo de aplicações (UBV), 90 - 150 micras, podendo em consequência obter-se uma maior cobertura, além de dispor de uma boa margem de segurança para correções devidas às perdas causadas pela evaporação, sem risco de ficar por fora do limite superior do intervalo considerado adequado.

Nas aplicações a baixo volume, os valores extremos do intervalo obtido, 70 - 140 micras, são também menores que os do sugerido por Hewitt, 150 - 300 micras, apresentando-se uma situação análoga à do caso anterior.

Nas aplicações a B.V. (água), observou-se a formação de mantos líquidos ao redor do gerador, enquanto que nas aplicações a U.B.V. (óleo) formaram-se filamentos curtos a partir da periferia do gerador. Estes tipos de comportamento, segundo Frost [9], obedecem às características dos líquidos (tensão superficial, densidade, viscosidade), às características do rotor (diâmetro e tipo de malha) e às condições de operação (vazão, velocidade angular). De acordo com o mesmo autor, o tamanho das gotículas e a uniformidade do espectro são influenciadas pelo tipo de formação líquida que se apresenta ao redor do gerador. Nesta pesquisa, os diâmetros foram influenciados, o que não sucedeu com a uniformidade dos espectros.

A causa principal da obtenção de menores diâmetros com o óleo foi a menor vazão usada para este líquido, pois em igualdade de vazões e devido à que o óleo apresenta maior tensão superficial e menor densidade que a água, teria acontecido o fenômeno contrário, segundo pode-se deduzir da equação indicada por Mass [22] para o diâmetro das gotas.

$$d = \frac{K}{\omega} \left( \frac{\sigma}{\rho D} \right)^{1/2}$$

onde:  $d$  = diâmetro das gotas, cm

$K$  = constante do gerador, adimensional

$\omega$  = velocidade angular, rad/seg

$\sigma$  = tensão superficial do líquido, dinos/cm

$\rho$  = densidade do líquido, gr/cm<sup>3</sup>

$D$  = diâmetro do gerador, cm

Os gráficos Nº 7 e Nº 8 mostram a influência da vazão

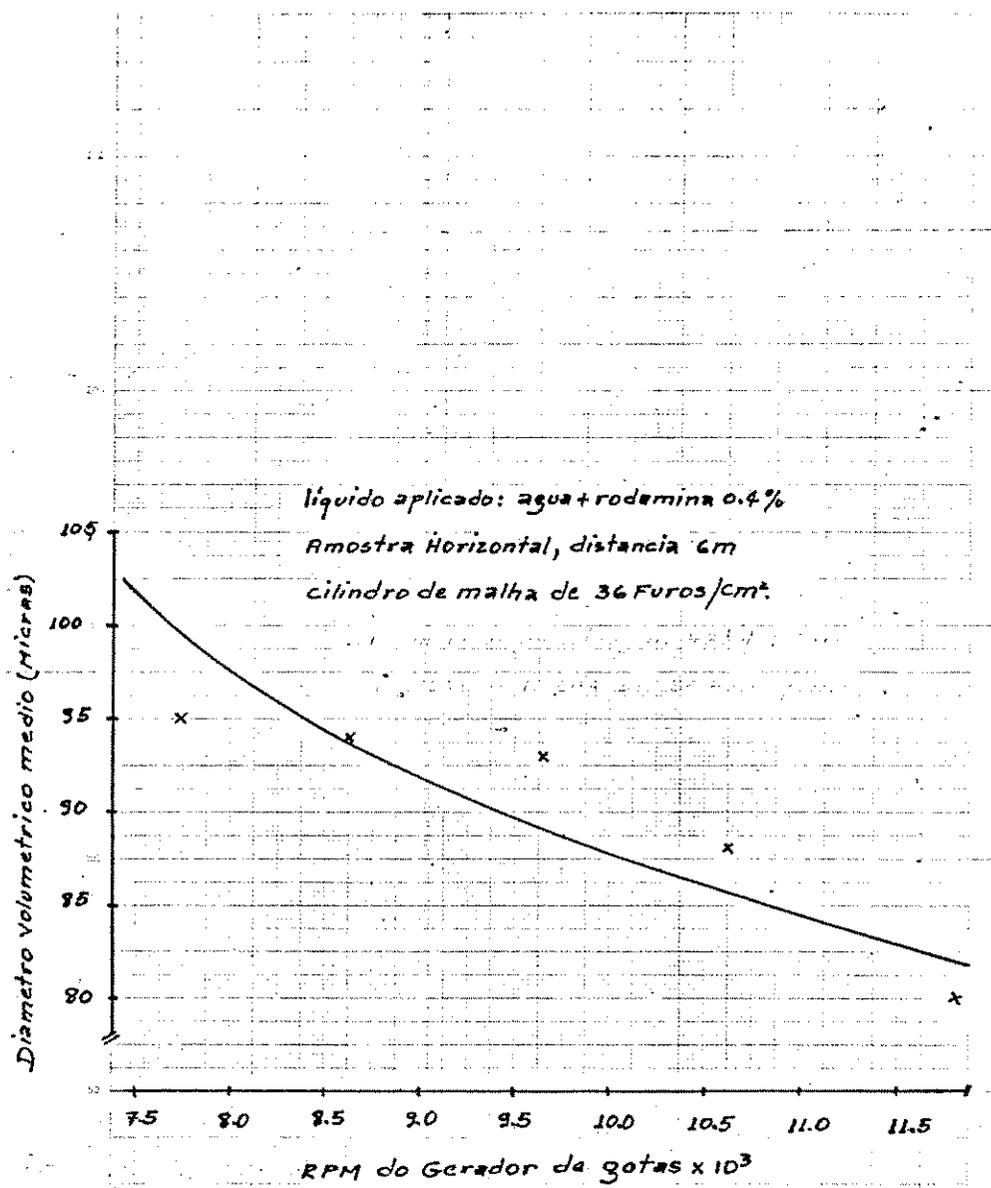


Gráfico Nº 7 : Influência da velocidade de rotação do gerador sobre o diâmetro volumétrico médio das gotas

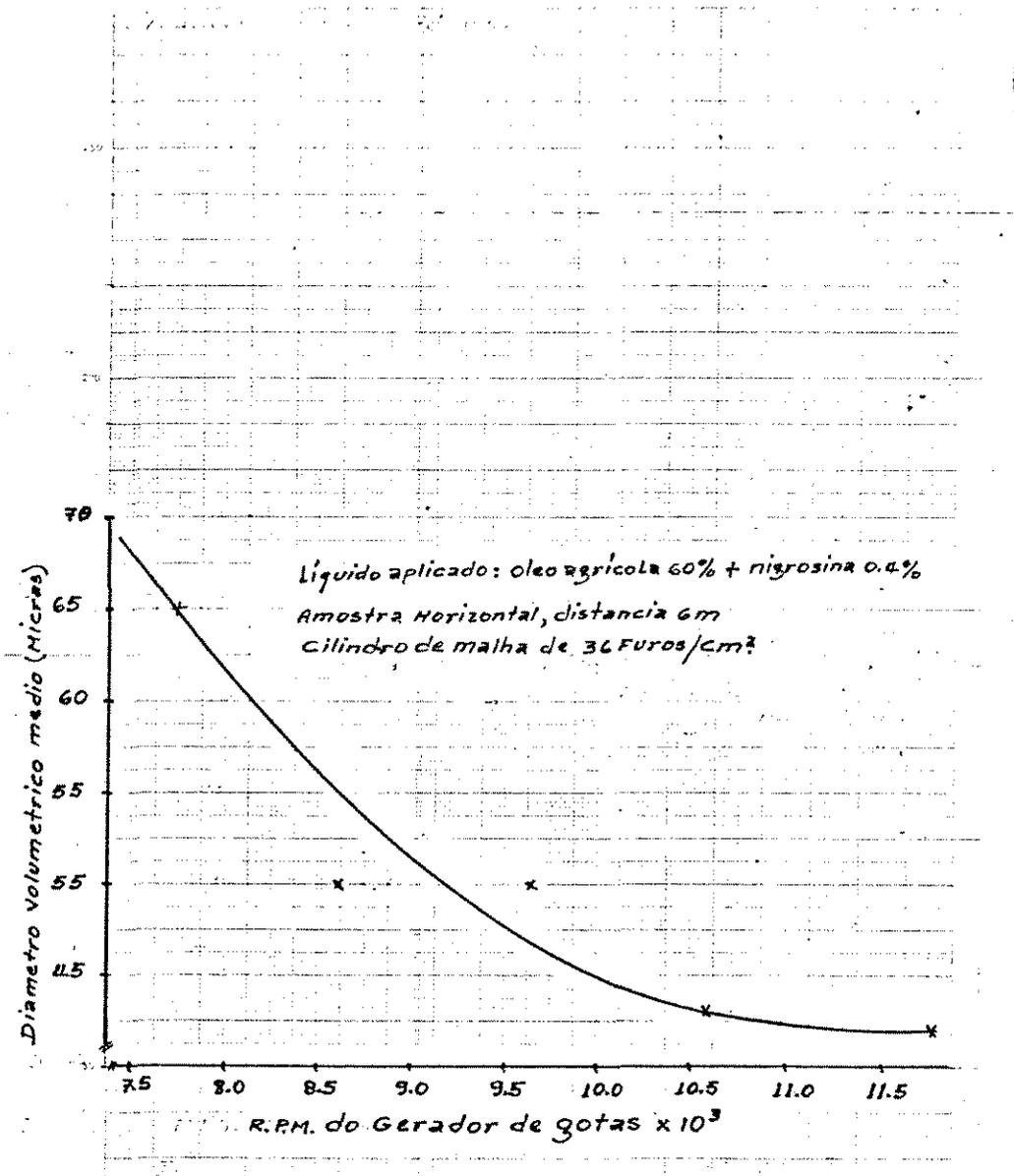


Gráfico Nº 8 : Influência da velocidade de rotação do gerador sobre o diâmetro volumétrico médio das gotas

e a velocidade de rotação do gerador sobre o diâmetro volumétrico médio. Nestas curvas, pode-se apreciar que o tamanho das gotas diminui com o aumento da rotação do gerador, mas as mudanças são progressivamente menores, o que indica a existência de um limite mínimo de tamanho, pois as curvas tendem a ser assintóticas.

No gráfico Nº 8 observa-se claramente que as gotículas já atingiram o diâmetro limite, enquanto que no gráfico Nº 7 as gotículas podem reduzir seu tamanho ao aumentar a rotação do gerador.

O gráfico Nº 7 corresponde às aplicações a B.V. e, portanto, sua vazão é maior.

O diâmetro limite acontece quando a pressão interna da gota é igual à soma da pressão externa e a pressão por tensão superficial.

$$P_i = P_S + P_\sigma$$

sendo:  $P_i$  = pressão interna da gota

$P_S$  = pressão externa devido ao atrito entre a gota e a corrente de ar

$P_\sigma$  = pressão devida à tensão superficial da gota

$$P_\sigma = \frac{4\sigma}{D}$$

onde:  $\sigma$  = tensão superficial da gota

$D$  = diâmetro da gota

$P_i$  é um valor constante para um tamanho determinado de gota de uma solução específica.

Ao aumentar a velocidade da corrente de ar, aumenta a rotação do gerador e o valor de  $P_S$ . Como  $P_\sigma$  não pode contraba

lançar o aumento de  $P_S$  para  $P_i$  permanecer constante, então fica alterado o equilíbrio na equação, o que se traduz na ruptura da gota em outras de menor tamanho e o processo repete-se até voltar ao equilíbrio de pressões com um valor maior de  $P_i$  devido ao aumento de  $P_\sigma$  ocasionado pela diminuição do diâmetro  $D$ .

#### 7.4 - COBERTURA

A informação a respeito está contida nas tabelas do A pêndice II, junto com os outros parâmetros dos espectros das aplicações.

Só os tratamentos com distâncias de amostragem de 4 e 6 m estiveram acima do limite mínimo de 50 gotas/cm<sup>2</sup>.

Nas amostras horizontais as melhores coberturas aconteceram para 6 m de distância e as velocidades mais altas do gerador. Nas amostras verticais, os valores mais altos para a cobertura foram obtidos a 4 m de distância, devido a que os espectros, no momento de serem interceptados, contêm maior número de gotas que a 6 m de distância, quando muitas delas já caíram no piso.

As fotografias das Figs. 1 e 2 mostram a distribuição das gotas sobre as superfícies coletoras, para os dois tratamentos que apresentaram as maiores coberturas, nas amostras horizontais. Nelas também pode-se apreciar as diferenças de coberturas e tamanhos de gotas entre os dois ensaios, como também a existência de gotas de diferentes diâmetros num mesmo tratamento.

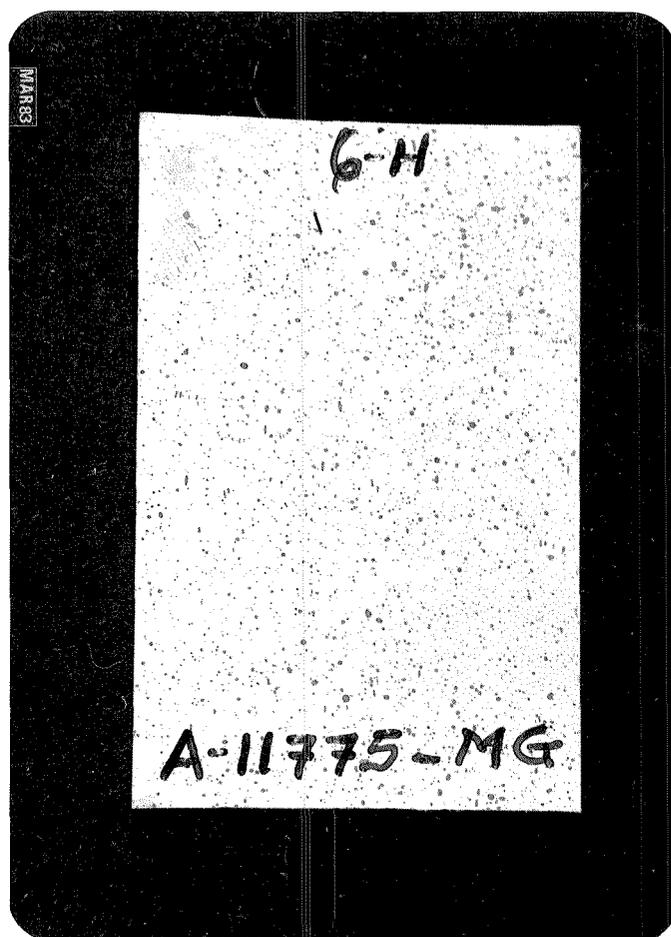


Figura Nº 1 : Fotografia do Kromikote para o tratamento: água + radomina 0.4%, 11775 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m.  
Ampliada 10 vezes.

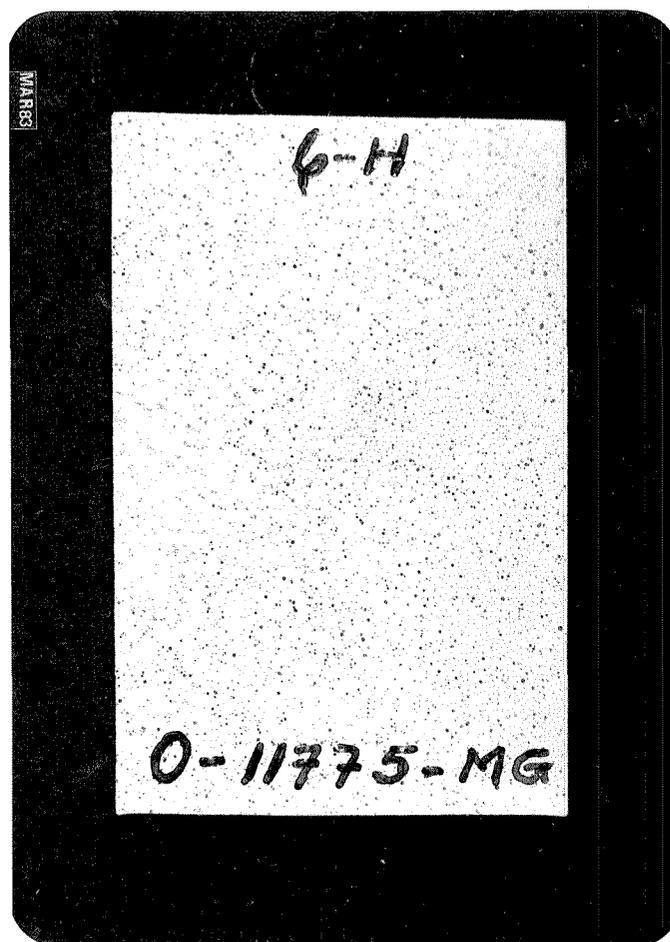


Figura Nº 2 : Fotografia do Kromikote para o tratamento: óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, 11775 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m. Ampliada 10 vezes.

#### 7.5 - ANÁLISE DE VARIANÇA PARA O DIÂMETRO VOLUMÉTRICO MÉDIO

Para as aplicações de óleo agrícola + nigrosina (UBV) as diferenças estatísticas entre os diâmetros dos tratamentos , ao nível de 95% de probabilidade, foram causadas pelas velocidades de rotação do gerador.

Nas aplicações de água + rodamina (BV), as diferenças significativas entre diâmetros foram ocasionadas pelas distâncias de coleta de amostras e pelas velocidades de rotação do gerador.

As tabelas do Apêndice Nº 4 contêm as análises de variança para os tratamentos. Observe-se que nem todos os tratamentos são estatisticamente diferentes.

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

1. A rotação do gerador apresentou excelente correlação linear com a velocidade da corrente de ar, sendo o coeficiente respectivo de 0.98.
2. Para uma mesma solução líquida e superfície objetivo, o fator de espalhamento comportou-se como uma função do diâmetro das gotas e da espessura dos depósitos líquidos.
3. O diâmetro volumétrico médio das gotas decresceu com o aumento da rotação do gerador, mas mostrou tendência a estabilizar-se num valor limite a partir do qual é quase insensível a novos aumentos na rotação do gerador.
4. A vazão mostrou influência sobre o tipo de formação líquida obtida ao redor do gerador (mantos e ligamentos) e sobre o diâmetro das gotas.
5. A rotação do gerador e a distância entre o ponto de emissão e a superfície objetivo influenciaram na cobertura (gotas/cm<sup>2</sup>) e no tipo de depósitos formados.
6. Os coeficientes de homogeneidade não apresentaram uma tendência definida com relação às variáveis, mas seus valores indicaram boa uniformidade dos espectros.

## RESUMO

No presente trabalho, foi desenvolvido um gerador de gotas "tipo micronair" para atomizadores costais motorizados.

O gerador consistia de uma tela de nylon, com 64 ou 36 malhas/cm<sup>2</sup>, disposta em formato cilíndrico e reforçada por uma pequena estrutura de alumínio. Tal cilindro era solidário a um rotor plástico movido pela corrente de ar produzida pelo atomizador. O líquido era então liberado no interior do cilindro, acelerado pelas suas malhas em rotação e lançado na corrente de ar para ser fraccionado por atrito. As gotículas resultantes eram transportadas pela mesma corrente.

O protótipo foi dimensionado levando-se em conta a velocidade e pressão da corrente de ar, tão bem como o diâmetro do duto.

A avaliação da performance do sistema foi conduzida por testes a baixo volume (água) e a ultra baixo volume (óleo), usando como tratamento os arranjos de 5 velocidades do gerador e 4 distâncias de coleta de amostras.

O tamanho das gotículas foi determinado utilizando-se traçadores nos líquidos e fazendo-se as aplicações em superfícies de papel Kromikote, para o qual havia-se determinado previamente o fator de espalhamento com cada uma das soluções líquidas.

Processada a informação, obtiveram-se os seguintes resultados:

- O gerador de gotas atingiu velocidades entre 7742 e 11775 RPM
- Os diâmetros volumétricos médios dos tratamentos variaram entre 80 e 140 micras para as aplicações a baixo volume e entre 40 e 90 micras para as aplicações a ultra baixo volume

- As melhores coberturas (gotas/cm<sup>2</sup>) foram obtidas com as maiores velocidades do gerador e as distâncias de coleta de amostras de 4 a 6 m
- Os espectros apresentaram coeficientes de homogeneidade entre 0.35 e 0.70

Houve diferenças significativas ao nível de 95% de probabilidade, entre os diâmetros volumétricos médios dos tratamentos causadas pelas velocidades do gerador e as distâncias de coleta de amostras.

## SUMMARY

In this research work a micronair sprayer tipe was developed in order to fit a back holded atomizer. The apparatus was powered by a two-stroke gasoline engine which was driving a blower. Air current was used to move the propeller attached to the micronair.

The micronair consisted of a cylindrical screen reinforced by a small aluminium structure. The liquid was conducted to the center of the spinning screen where it was centrifugally launched into the air stream and divided in small particles being pneumatically carried away.

Air pressure and velocities as well as the diameter of the tube were used as design parameters for the micronair.

The prototype was tested by carrying-out low volume applications (with water) and ultra low volume (with spray-oil) at 5 speeds in 4 distances for samples collection.

Particle size were determined by tracers in liquid on Kromikote paper, for which it was determined spray factor for each one of liquid solutions.

From the data processed the following results were found:

- The micronair rotor reached a speed of 7742 to 11775 RPM
- The volume median diameter of the treatments varied from 80 to 140 mycrons for low volume applications and 40 to 90 for ultra low volume conditions
- The highest number of particles per  $\text{cm}^2$  was obtained with higher speeds and samples colected at 4 and 6 m
- The expectra showed coeficient of homogenety between 0.35 and 0.70

Was found a significant statistical difference among the volume median diameters of treatments due to the micronair velocities and distances of samples collections.

BIBLIOGRAFIA

- [1] - BERNACKI,H.; HAMAN,J.; KANAFOJSKI, C.Z., "Insects plant diseases and weeds controlling machines", Agricultural Machines Theory and Construction, Warsaw 1967, pp. 780-864.
- [2] - BETZ,A., "Einführung in die Theorie der stromungsmaschinen", Stuttgart, 1959, pp. 10-12.
- [3] - BOIZE,L.M.; DOMBROWSKI,N., "The atomization characteristics of a spinning disc ultra-low volume applicator", Journal of Agric. Eng. Research, London, 1976, Vol. 21, pp. 87-99.
- [4] - BRAN,R.; DE SOUZA Z., "Máquinas de Fluxo. Turbinas, bombas e Ventiladores",Rio de Janeiro, 1980, 255 p.
- [5] - CAMARGO,R.C., "Máquinas de Fluxo Tangenciais, radiais e axiais", Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, Pub. Nº 22, 1965, pp. 147-178.
- [6] - CARLTON,J.B.; BOUSE,L.F., "Characterizing spray deposit on film by light transmittion", Trans. of the ASAE, Michigan 1981, Vol. 24, pp. 277-280.
- [7] - CIBA GEIGY, "Correcta aplicación aerea de pesticidas", Bogota, 1975, 30 p.
- [8] - DUTARTRE,J., "Les Eoliennes", Machinisme Agricole Tropical, Nº 67, CEEMAT, Anthony (France) 1979, pp. 4-8.
- [9] - FROST,A.R., "Rotary Atomization in the ligament formation mode", Journal of Agric. Eng. Research, London 1981, Vol. 26, pp. 63-78.

.../.

- [10] - FROST,A.R.; LAKE,J.R., "The Significance of drop velocity to determination of drop-size distribution of agricultural sprays", Journal of Agric. Eng. Research, London 1981, Vol. 26, pp. 367-370.
- [11] - FROST,A.R.; LAW,A.S., "Extended flow characteristics of the embedded electrode spray charging nozzle", Journal of Agric. Eng. Research, London 1981, Vol. 26, pp. 79-86
- [12] - FROST,A.R.; YATES,W.E., "A pulsed-jet atomizer for the production of spray with narrow drop size ranges", Journal of Agric. Eng. Research, London 1981, Vol. 26 pp. 357-366.
- [13] - GOERING,C.E. et. al., "Targets of spray drift measurement Trans. of the ASAE, Michigan 1977, Vol. 20, pp.35-37.
- [14] - HEDDEN,O.K., "Spray drop size and size distribution in the pesticide sprays", Trans. of the ASAE, Michigan 1961, Vol. 2, pp. 158-159.
- [15] - HEWITT,L.G.F.; PEREZ,H., "La técnica de aplicación de agroquímicos. Su teoría y práctica", Depto Técnico de la Ciba Geigy Colombiana, Bogotá 1975, 63 p.
- [16] - HUTTER,U., "Planning and balancing of small output wind power plant. Wind and solar energy", UNESCO, Paris 1956, pp. 76-89.
- [17] - JOHNSTONE,D.R., "A twin tracer technique permitting the simultaneous evaluation of the field performance of two spraying machines or spraying techniques", Journal of Agric. Eng. Research, London 1977, Vol. 22, pp. 439-443.

.../.

- [18] - JOHNSTONE,D.R. et. al., "Development of hand spray equipment for applying fungicides to Control Cercospora disease of groundnuts in Malawi", Journal of Agric. Eng. Research, London 1975, Vol. 20, pp. 379-389.
- [19] - LE CHAPPELLIER,P., "Eolienea et habitat", L'affranchi Troisième Ed., Numéro especial, Paris 1975, pp. 18-31.
- [20] - MARCHANT,J.A., "Calculation of spray droplet trajectory in a moving air stream", Journal of Agric. Eng. Research London 1977, Vol. 22, pp. 93-96.
- [21] - MARIER,D., "Rotors. Wind Power for the Homeowner", Library of the Congress, Washington 1981, pp. 84-89.
- [22] - MASS,W., "ULV Application and formulation techniques", Philips Duphar, Crop. protection Division, Amsterdam 1979, 163 p.
- [23] - NAWAY,A.S., "A Method of counting droplets", Journal of Agr. Eng. Research, London 1976, Vol. 21, pp. 211-212.
- [24] - PAUSE,V.G.; SUKHATME,P.V., "El analisis de varianza. Método estadísticos para investigadores agrícolas", Traducción al Español, Fondo de Cultura Económica, Mexico 1979, pp. 201-204.
- [25] - TATE,R.W.; JANNSEN,L.F., "Droplet size data for agricultura spray nozzles", Trans. of the ASAE, Michigan 1966, Vol. 3, pp. 303-305.
- [26] - TRAYFORD,R.S.; WELCH,L.W., "Aerial Spraying: A simulation of factors influencing the distribution and recovery of liquid droplets", Journal of Agric. Eng. Research,, London 1977,, Vol. 22, pp. 183-196.

- [27] - WEBER,R., "Les appareils de traitement phytosanitaire en milieu tropical. Les pulverisateurs", *Machinisme Agri Tropical*, N° 68, CEEMAT Anthony France, 1979, pp. 3-27.
- [28] - YATES,W.E., "Spray Patern analysis and evaluation of deposits from agricultural aircraft", *Trans. of the ASAE*, Michigan 1962, Vol. 5, pp. 49-53.

APÊNDICE I

DESENHOS DO CONJUNTO PARA MONTAGEM E DOS  
DETALHES PARA CONSTRUÇÃO DO GERADOR DE GOTAS

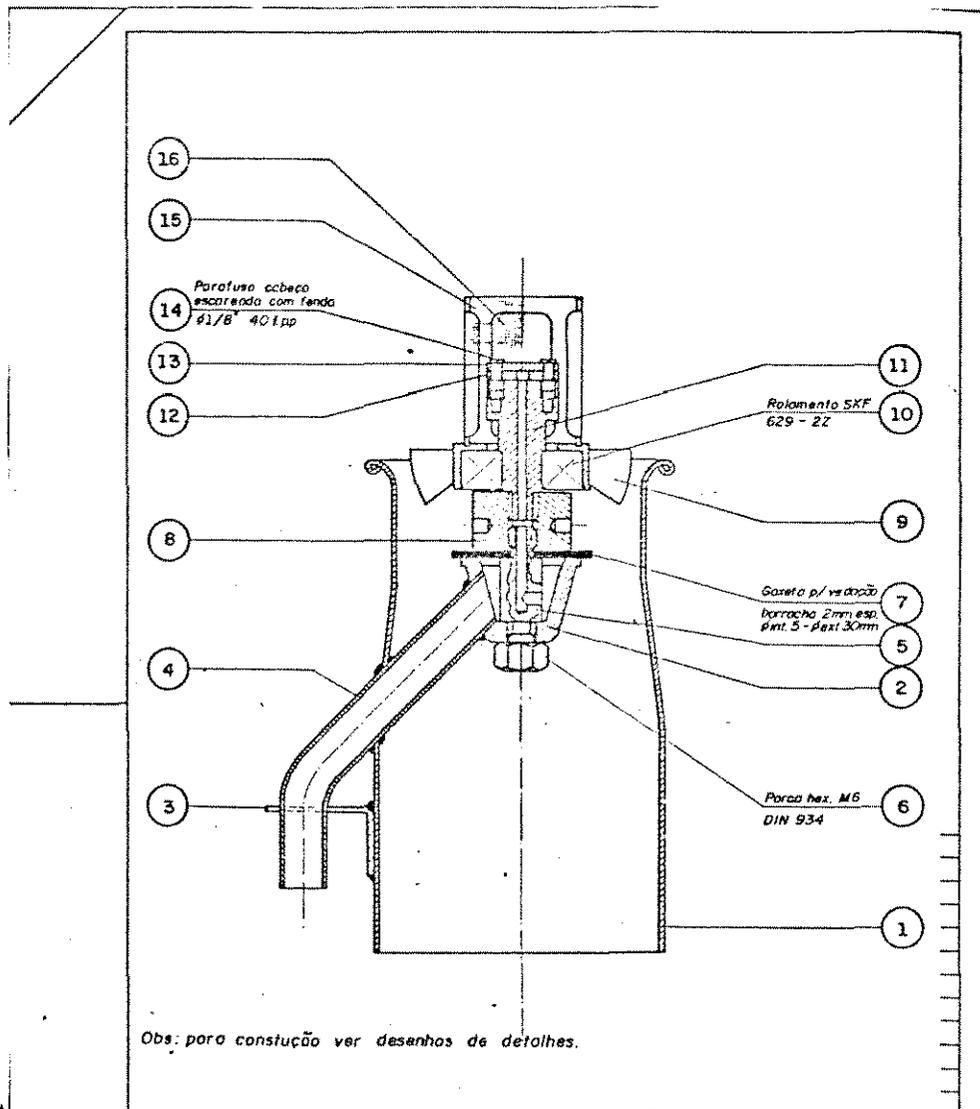
## Lista de peças e materiais do gerador de gotas:

POSIÇÃO	QUANT.	DESCRIÇÃO	MATERIAL	DIMENSÕES
01*	01	Copo de atomização	latão	φ62.5x106mm
02*	01	Receptor	"	φ26x18mm
03*	01	Cantoneira	"	42x18x1.0mm
04*	01	Tubo condutor	"	φ3/8"x100mm
05		Pino roscado	"	φ9 x 31mm
06	01	Porca hexagonal M-6 DIN 934		
07	01	Caxeta p/ vedação	borracha	φext. 30mm φint. 5mm esp. 2mm
08	01	União	latão	φ21x12.5mm
09**	01	Hélice (rotor)	plástico	φ48x22mm
10	01	Rolamento de esferas SKF 629-2Z		
11	01	Eixo da hélice	latão	φ15x30mm
12	01	Arruela controle vazão	teflon	φ15x2.0mm
13	01	Arruela de fixação	"	φ15x2.0mm
14	02	Parafuso cabeça escarea da com fenda		φ1/8"x40f.p.p L = 7mm
15	01	Tubo rasgado	alumínio	φ1"x32mm
16	01	Tela em tecido 64 malhas/cm <sup>2</sup>	nylon	φfio 0.30mm

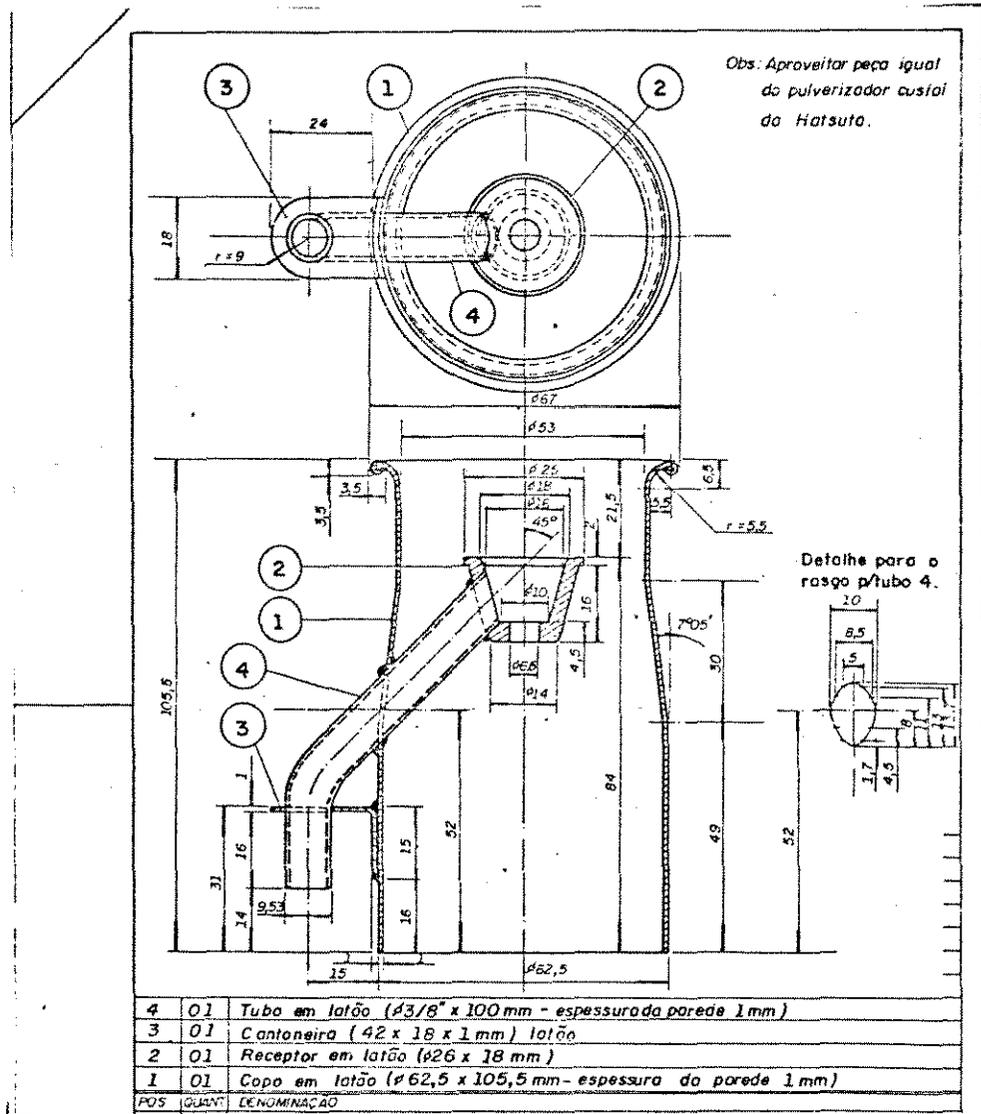
\* Aproveitar do atomizador costal Hatsuta AM-12

\*\* Aproveitar hélice do ventilador do secador de cabelos Walita

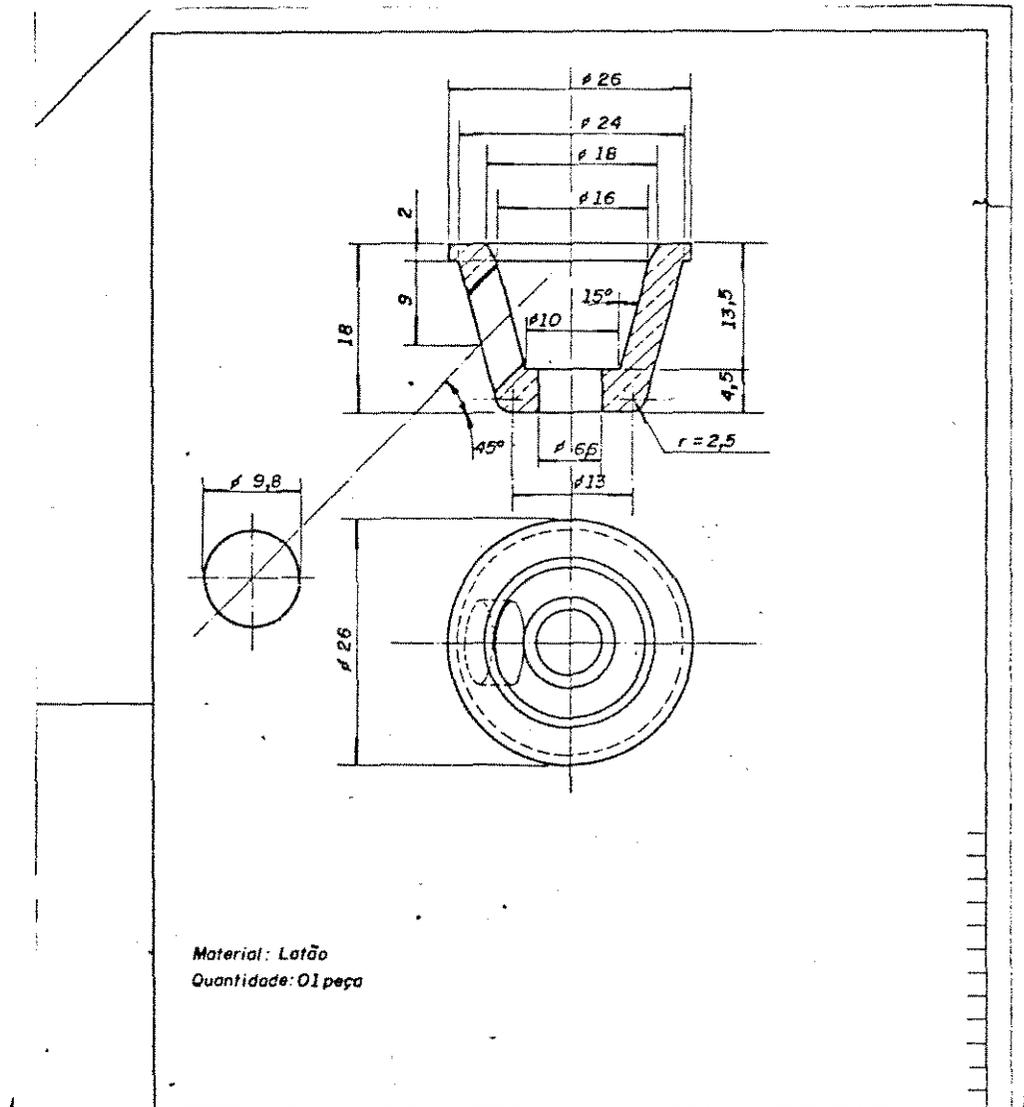
OBS: Ver desenhos de detalhes.



GERADOR DE GOTAS  
Conjunto para montagem

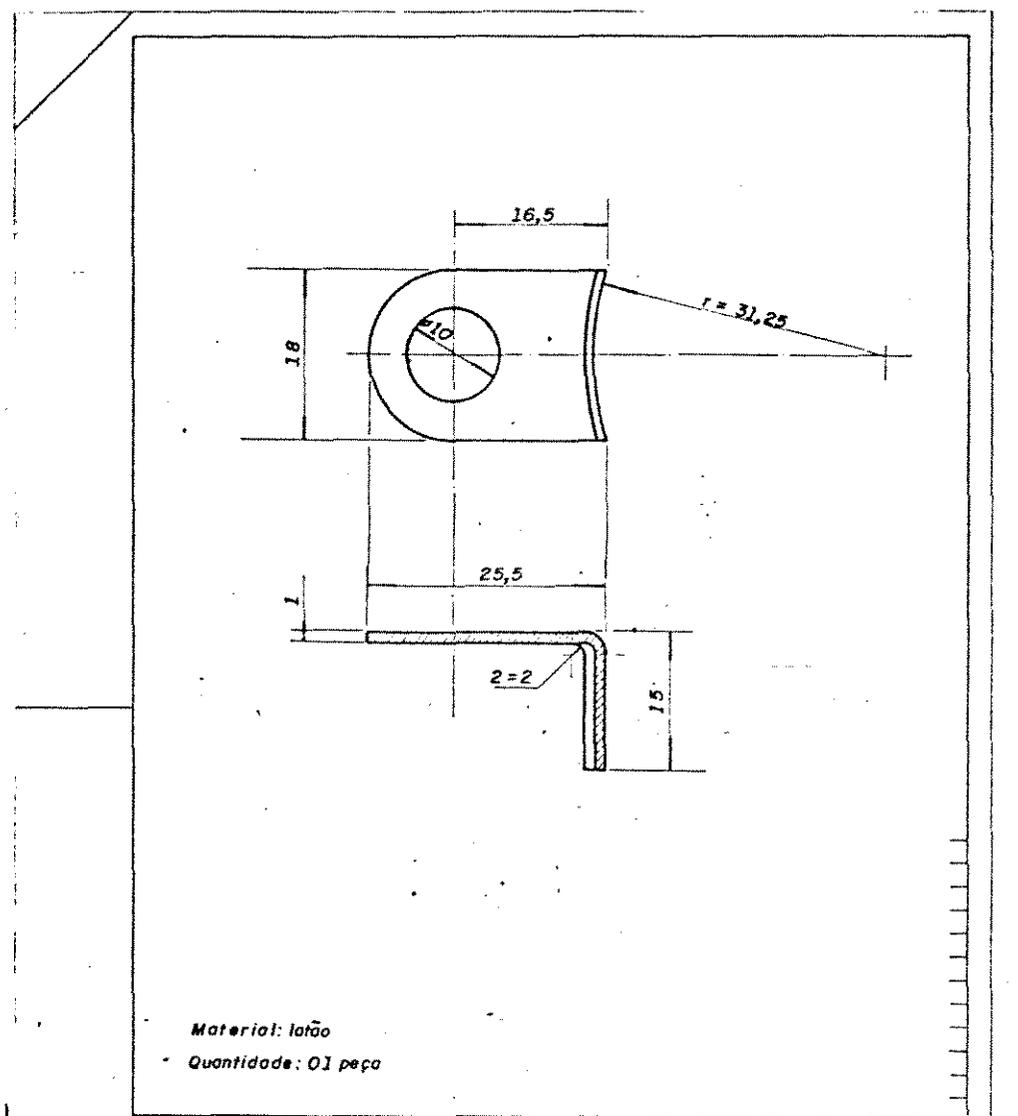


GERADOR DE GOTAS  
Copo para Atomização



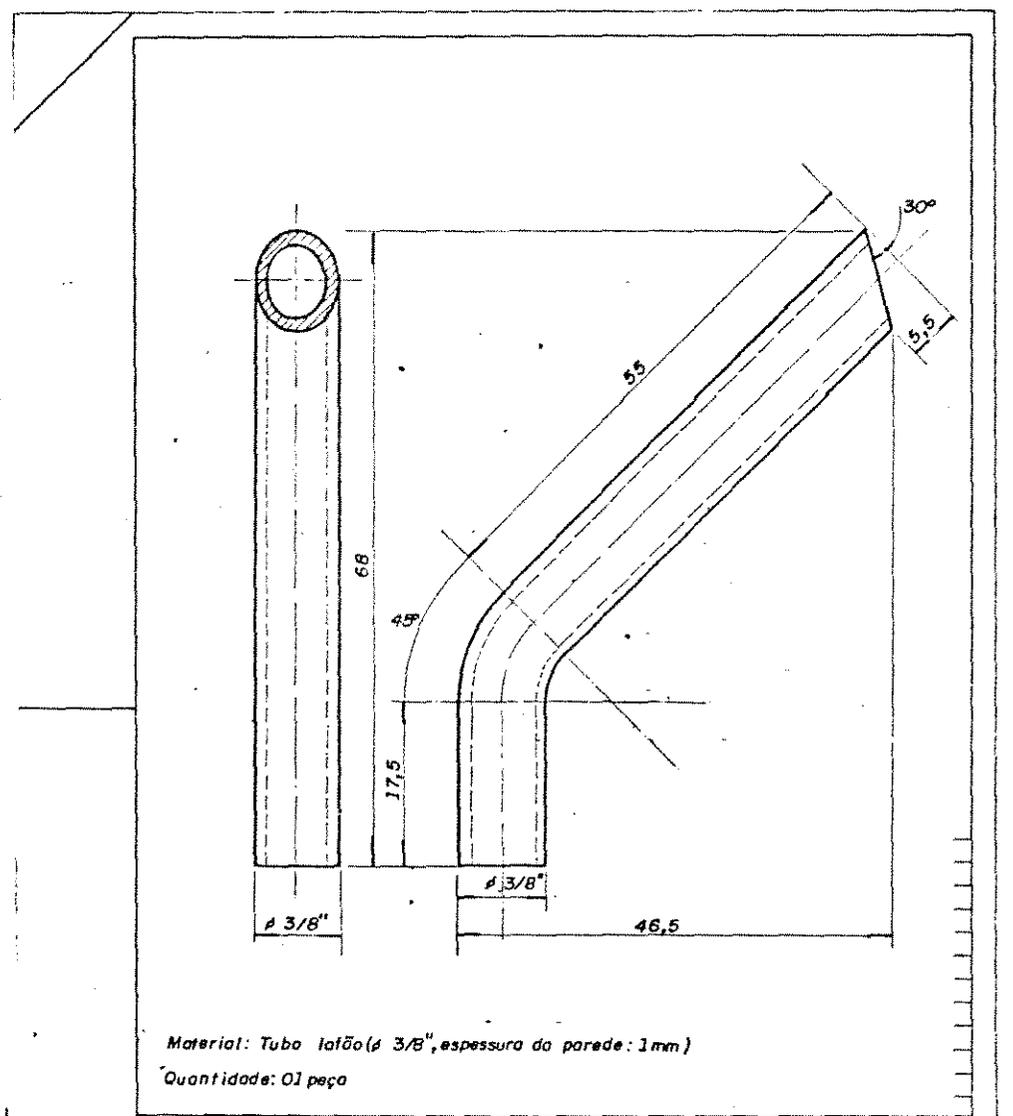
GERADOR DE GOTAS

Detalhe 2

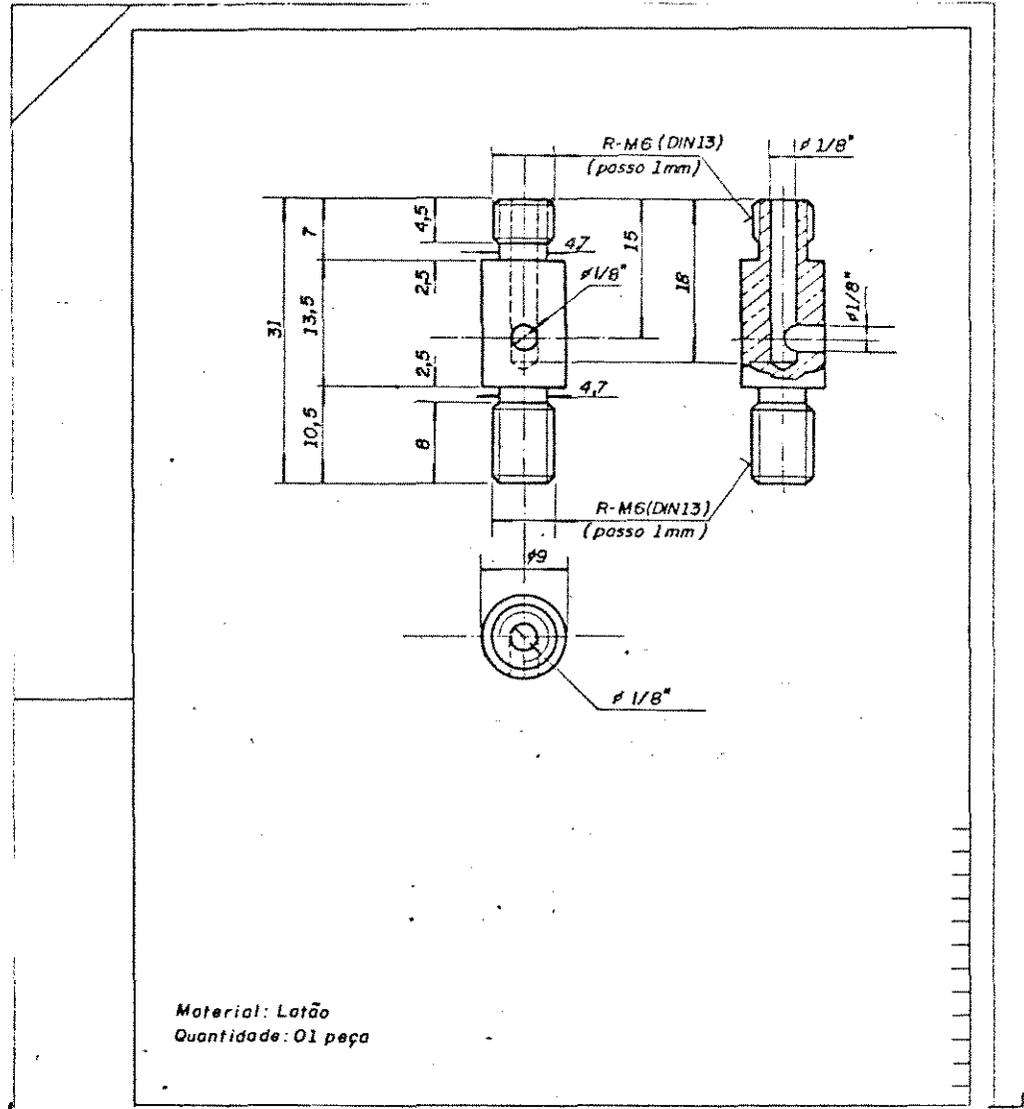


GERADOR DE GOTAS

Detalhe 3

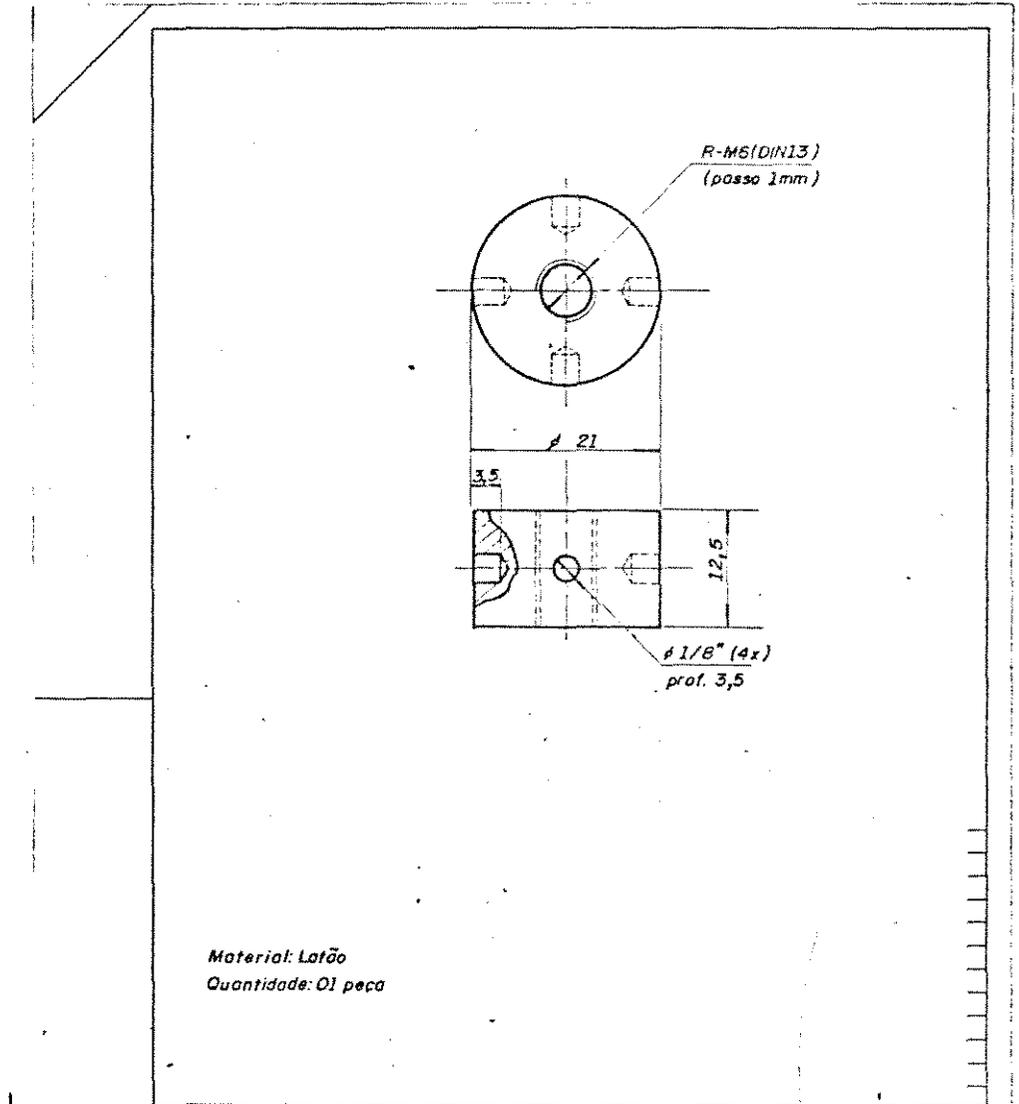


GERADOR DE GOTAS  
Detalhe 4



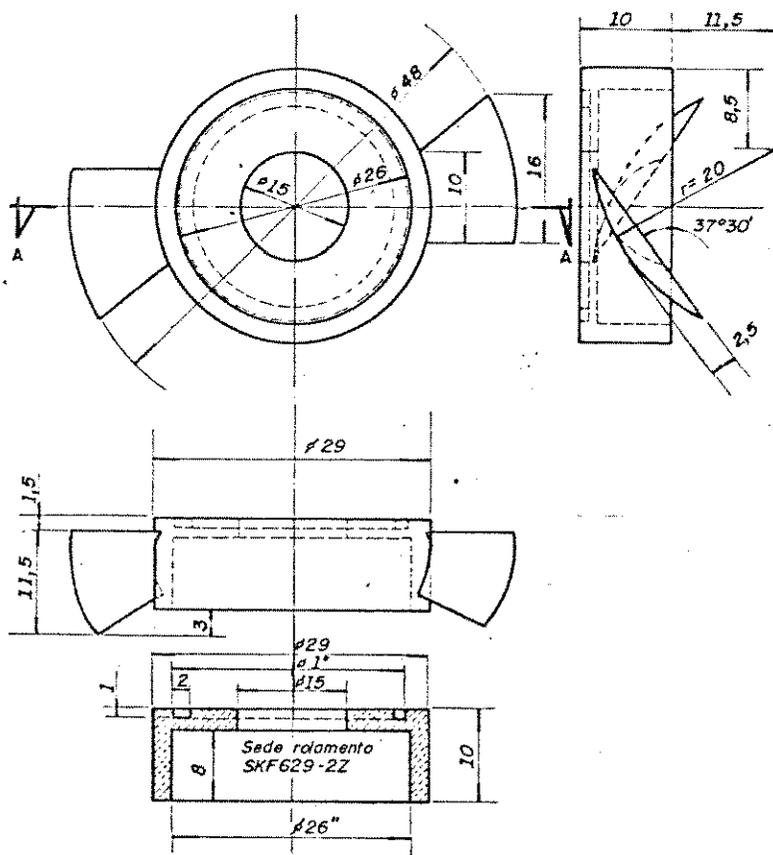
GERADOR DE GOTAS

Detalhe 5



GERADOR DE GOTAS  
Detalhe 8

Obs: Aproveitar o ventilador do secador de cabelos Wolito deixando 02 asas a 180°.

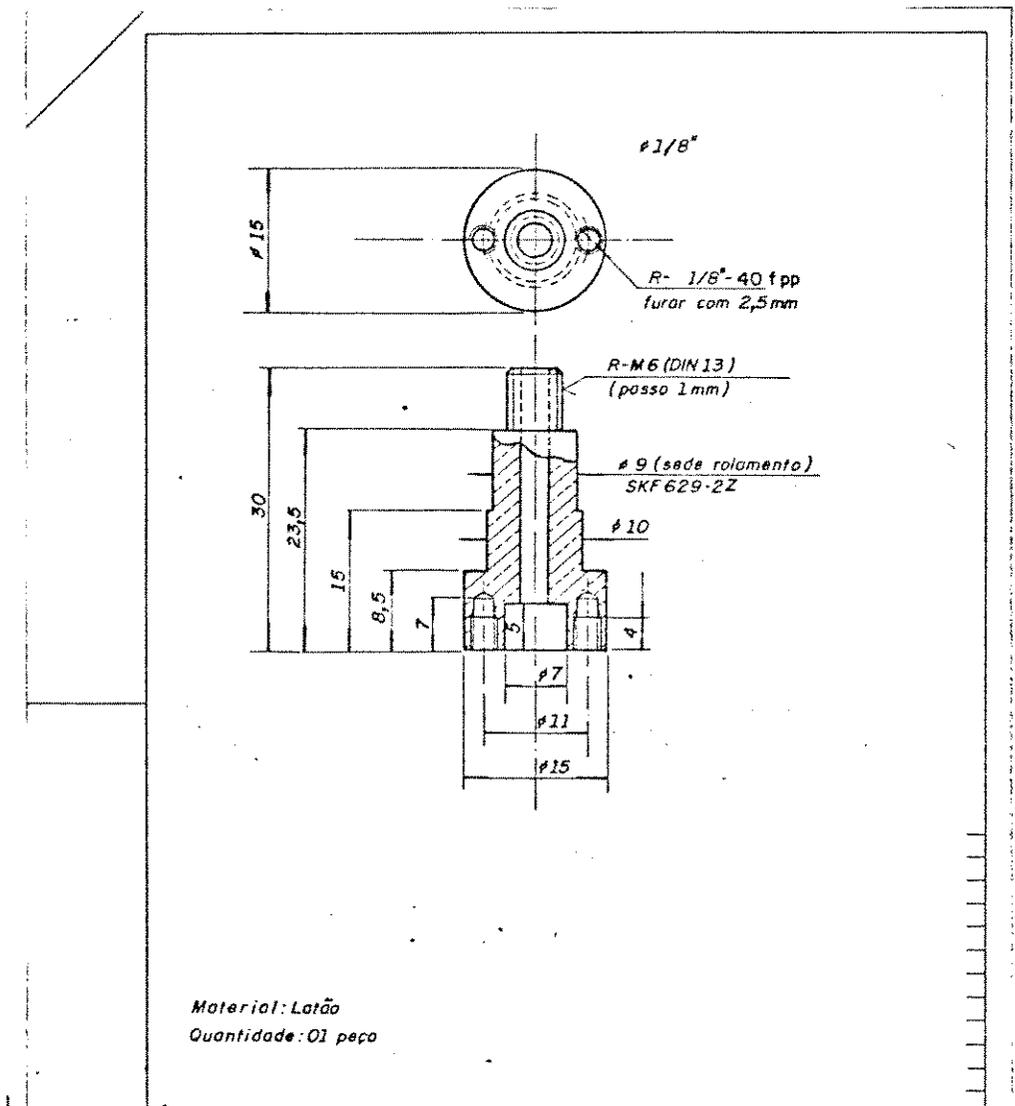


Corte AA (sem as asas)

Material: Plástico  
Quantidade: 01 peça

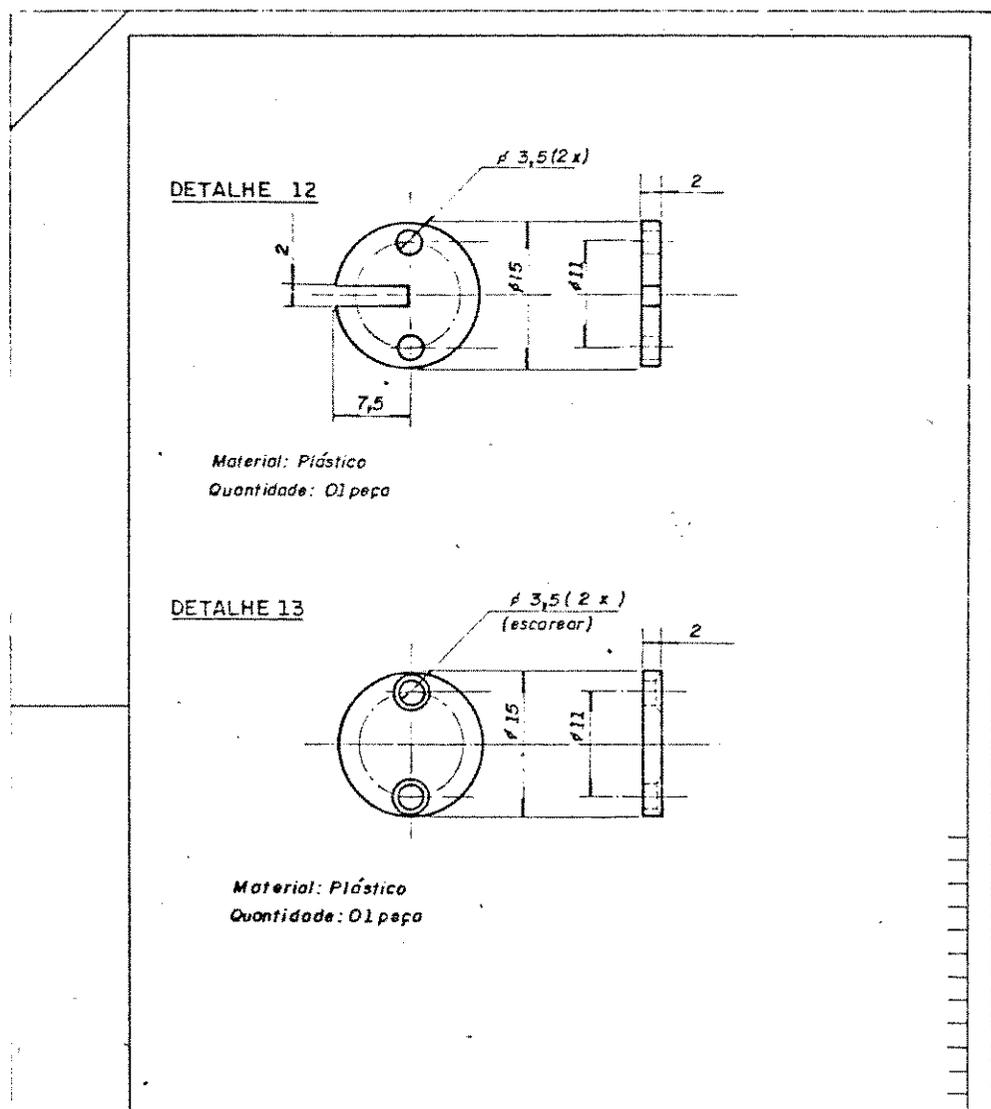
### GERADOR DE GOTAS

#### Detalhe 9

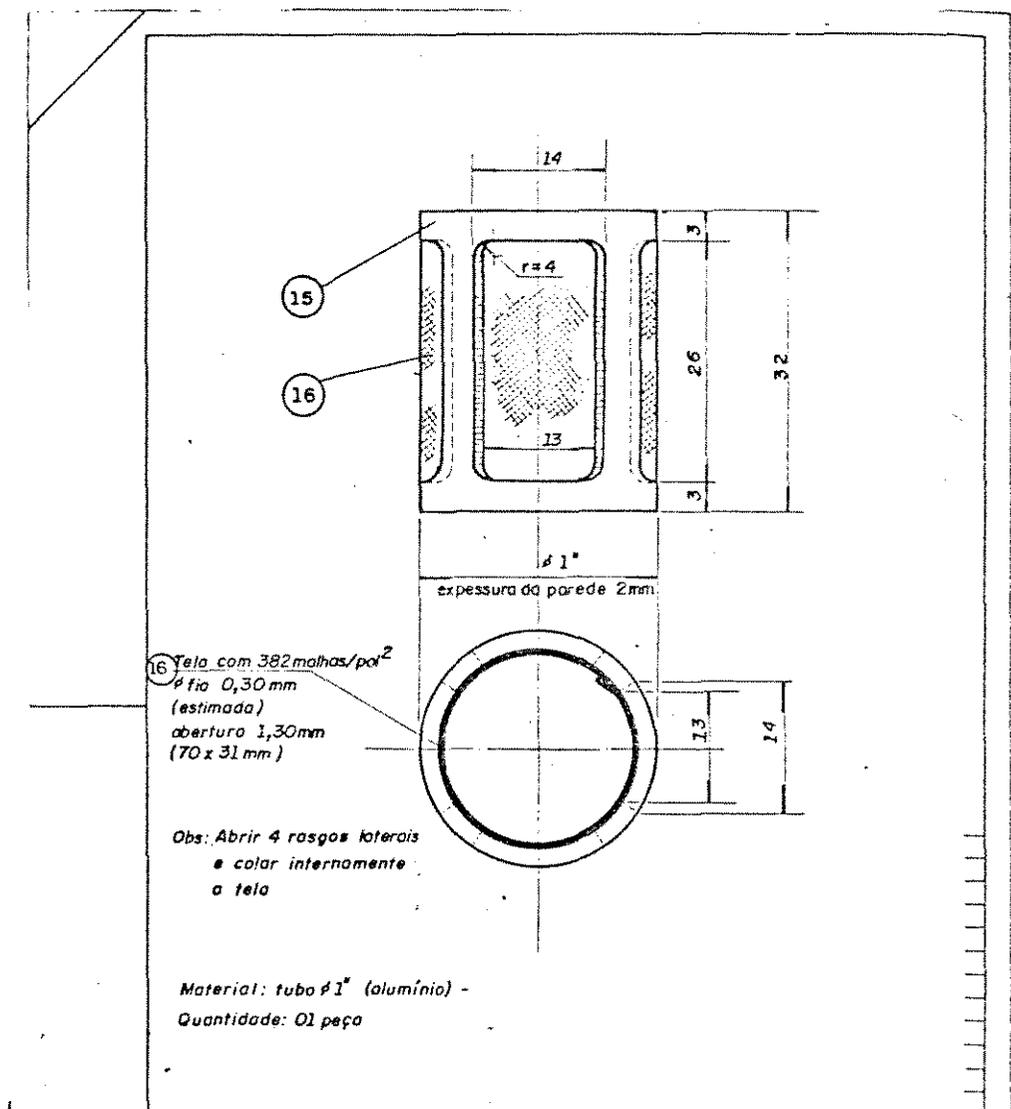


GERADOR DE GOTAS

Detalhe 11



GERADOR DE GOTAS  
Detalhes 12 e 13



GERADOR DE GOTAS

Detalhe 15

APÊNDICE II

PARÂMETROS CARACTERÍSTICOS DOS ESPECTROS  
DE GOTAS DOS TRATAMENTOS

Tabela 1 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 água + rodamina 0.4%, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem horizontal 6 m

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador				
	11775	10599	9645	8620	7742
Diâmetro do 25%	28	28	34	37	30
Diâmetro do 50%	44	48	53	57	51
Diâmetro do 75%	66	76	80	83	83
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.42	0.36	0.43	0.45	0.35
Diâmetro Volumétrico Médio	80	88	93	94	95
Diâmetro Volumétrico Mediano	80	104	99	100	120
Diâmetro Mínimo	19	19	19	58	19
Diâmetro Máximo	134	173	211	173	249
Fator de Correção 1/F	0.769	0.769	0.769	0.769	0.769
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	91	79	71	59	52

Tabela 2 : Paramêtos característicos para os tratamentos:  
 água + rodamina 0.4%, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem horizontal 4 m

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador				
	11775	10599	9645	8620	7742
Diâmetro do 25%	43	47	42	48	65
Diâmetro do 50%	66	70	67	71	91
Diâmetro do 75%	96	100	100	101	121
Coeficiente de homogeneidade (C.H.)	0.45	0.47	0.43	0.46	0.54
Diâmetro Volumétrico Médio	106	106	108	111	127
Diâmetro Mínimo	113	120	120	119	138
Diâmetro Máximo	19	19	19	18	55
Diâmetro Médio Máximo	211	211	211	238	238
Fator de Correção 1/F	0.769	0.769	0.769	0.735	0.735
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	83	71	59	52	55

Tabela 3 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 água + rodamina 0.4%, malha de 64 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem horizontal 6 m

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador				
	11775	10599	9645	8620	7742
Diâmetro do 25%	37	39	42	42	49
Diâmetro do 50%	52	53	58	59	68
Diâmetro do 75%	69	70	78	82	90
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.54	0.56	0.54	0.51	0.54
Diâmetro Volumétrico Médio	78	82	90	90	99
Diâmetro Volumétrico Mediano	74	77	87	88	98
Diâmetro Mínimo	19	19	19	19	57
Diâmetro Máximo	95	134	134	172	133
Fator de Correção 1/F	0.763	0.763	0.763	0.763	0.763
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	93	80	74	62	48

Tabela 4 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 água + rodamina 0.4%, malha de 64 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem horizontal 40m

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador				
	11775	10599	9645	8620	7742
Diâmetro do 25%	38	43	58	48	67
Diâmetro do 50%	50	59	74	69	90
Diâmetro do 75%	64	76	94	96	120
Coeficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.59	0.57	0.62	0.50	0.56
Diâmetro Volumétrico Médio	81	89	105	107	130
Diâmetro Volumétrico Mediano	74	82	104	110	133
Diâmetro Mínimo	19	19	57	57	55
Diâmetro Máximo	134	134	172	209	202
Fator de Correção 1/F	0.763	0.763	0.763	0.763	0.735
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	77	71	66	55	57

Tabela 5 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 água + rodamina 0.4%, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem 6 m, amostras verticais

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador	11775	9645	7742
Diâmetro do 25%		27	33	35
Diâmetro do 50%		40	45	47
Diâmetro do 75%		57	59	63
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)		0.47	0.55	0.55
Diâmetro Volumétrico Médio		71	74	75
Diâmetro Volumétrico Mediano		66	65	71
Diâmetro Mínimo		20	20	19
Diâmetro Máximo		99	139	134
Fator de Correção 1/F		0.793	0.793	0.763
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )		101	93	76

Tabela 6 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 água + rodamina 0.4%, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem 4 m, amostras verticais

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador		
	11775	9645	7742
Diâmetro do 25%	25	30	29
Diâmetro do 50%	38	44	44
Diâmetro do 75%	56	62	64
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.44	0.48	0.45
Diâmetro Volumétrico Médio	73	75	78
Diâmetro Volumétrico Mediano	70	72	77
Diâmetro Mínimo	20	19	19
Diâmetro Máximo	139	134	134
Fator de Correção 1/F	0.793	0.763	0.763
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	105	91	79

Tabela 7 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem horizontal 6 m

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador				
	11775	10599	9645	8620	7745
Diâmetro do 25%	15	18	22	24	29
Diâmetro do 50%	24	26	33	32	40
Diâmetro do 75%	32	35	44	42	55
Coeficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.47	0.51	0.49	0.57	0.53
Diâmetro Volumétrico Médio	42	43	50	50	65
Diâmetro Volumétrico Mediano	40	39	49	46	66
Diâmetro Mínimo	12	12	13	13	13
Diâmetro Máximo	81	82	66	66	225
Fator de Correção 1/F	0.526	0.526	0.526	0.556	0.556
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	109	103	81	69	53

Tabela 8 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem horizontal 4 m

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador				
	11775	10599	9645	8620	7742
Diâmetro do 25%	19	26	29	26	31
Diâmetro do 50%	27	35	38	37	43
Diâmetro do 75%	37	45	50	49	59
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.51	0.57	0.58	0.53	0.53
Diâmetro Volumétrico Médio	44	52	57	59	69
Diâmetro Volumétrico Mediano	46	48	56	55	68
Diâmetro Mínimo	12	13	13	13	13
Diâmetro Máximo	82	66	92	92	118
Fator de Correção 1/F	0.526	0.526	0.556	0.526	0.556
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	99	84	86	71	58

Tabela 9 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, malha de 64 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem horizontal 6 m

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador				
	11775	10599	9645	8620	7742
Diâmetro do 25%	23	24	25	23	29
Diâmetro do 50%	29	33	35	32	41
Diâmetro do 75%	36	45	48	47	56
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.64	0.53	0.52	0.49	0.52
Diâmetro Volumétrico Médio	47	54	57	60	64
Diâmetro Volumétrico Mediano	43	52	56	70	69
Diâmetro Mínimo	12	13	13	13	13
Diâmetro Máximo	82	95	92	145	118
Fator de Correção 1/F	0.526	0.526	0.526	0.556	0.526
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	106	98	85	67	59

Tabela 10 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, malha de 64 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem horizontal 4 m

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador				
	11775	10599	9645	8620	7742
Diâmetro do 25%	16	25	34	34	34
Diâmetro do 50%	26	35	44	47	51
Diâmetro do 75%	35	49	59	65	73
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.46	0.51	0.58	0.52	0.47
Diâmetro Volumétrico Médio	43	58	66	73	87
Diâmetro Volumétrico Mediano	40	60	68	76	98
Diâmetro Mínimo	12	13	13	13	42
Diâmetro Máximo	82	118	118	145	181
Fator de Correção 1/F	0.526	0.526	0.526	0.556	0.558
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	95	79	73	68	60

Tabela 11 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem 6 m, amostras verticais

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador		
	11775	9645	7742
Diâmetro do 25%	22	23	24
Diâmetro do 50%	27	29	29
Diâmetro do 75%	33	36	36
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.67	0.64	0.67
Diâmetro Volumétrico Médio	39	43	44
Diâmetro Volumétrico Mediano	40	40	39
Diâmetro Mínimo	12	11	12
Diâmetro Máximo	58	82	58
Fator de Correção 1/F	0.526	0.526	0.526
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	112	102	83

Tabela 12 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem 4 m, amostras verticais

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador		
	11775	9645	7742
Diâmetro do 25%	22	22	26
Diâmetro do 50%	27	27	34
Diâmetro do 75%	33	34	42
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.67	0.65	0.62
Diâmetro Volumétrico Médio	40	40	52
Diâmetro Volumétrico Mediano	35	43	46
Diâmetro Mínimo	12	12	13
Diâmetro Máximo	58	58	92
Fator de Correção 1/F	0.526	0.526	0.556
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	117	104	86

Tabela 13 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, malha de 64 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem 6 m, amostras verticais

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador		
	11775	9645	7742
Diâmetro do 25%	23	33	33
Diâmetro do 50%	29	45	45
Diâmetro do 75%	36	60	60
Coeficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.64	0.55	0.55
Diâmetro Volumétrico Médio	45	58	68
Diâmetro Volumétrico Mediano	42	63	70
Diâmetro Mínimo	12	13	13
Diâmetro Máximo	82	118	118
Fator de Correção 1/F	0.526	0.526	0.556
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	108	86	68

Tabela 14 : Parâmetros característicos para os tratamentos:  
 óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, malha de 64 furos/cm<sup>2</sup>  
 distância de amostragem 4 m, amostras verticais

Tipo de $\phi$ - Micras	RPM - Gerador		
	11775	9645	7742
Diâmetro do 25%	20	26	33
Diâmetro do 50%	24	31	45
Diâmetro do 75%	29	38	60
Coefficiente de Homogeneidade (C.H.)	0.69	0.68	0.55
Diâmetro Volumétrico Médio	37	44	66
Diâmetro Volumétrico Mediano	32	39	66
Diâmetro Mínimo	12	12	39
Diâmetro Máximo	58	58	118
Fator de Correção 1/F	0.526	0.526	0.556
Cobertura (gotas/cm <sup>2</sup> )	114	98	81

APENDICE III

CURVAS DE VOLUME E POPULAÇÃO PARA OS  
TRATAMENTOS COM DISTÂNCIA DE AMOSTRAGEM DE 6 m

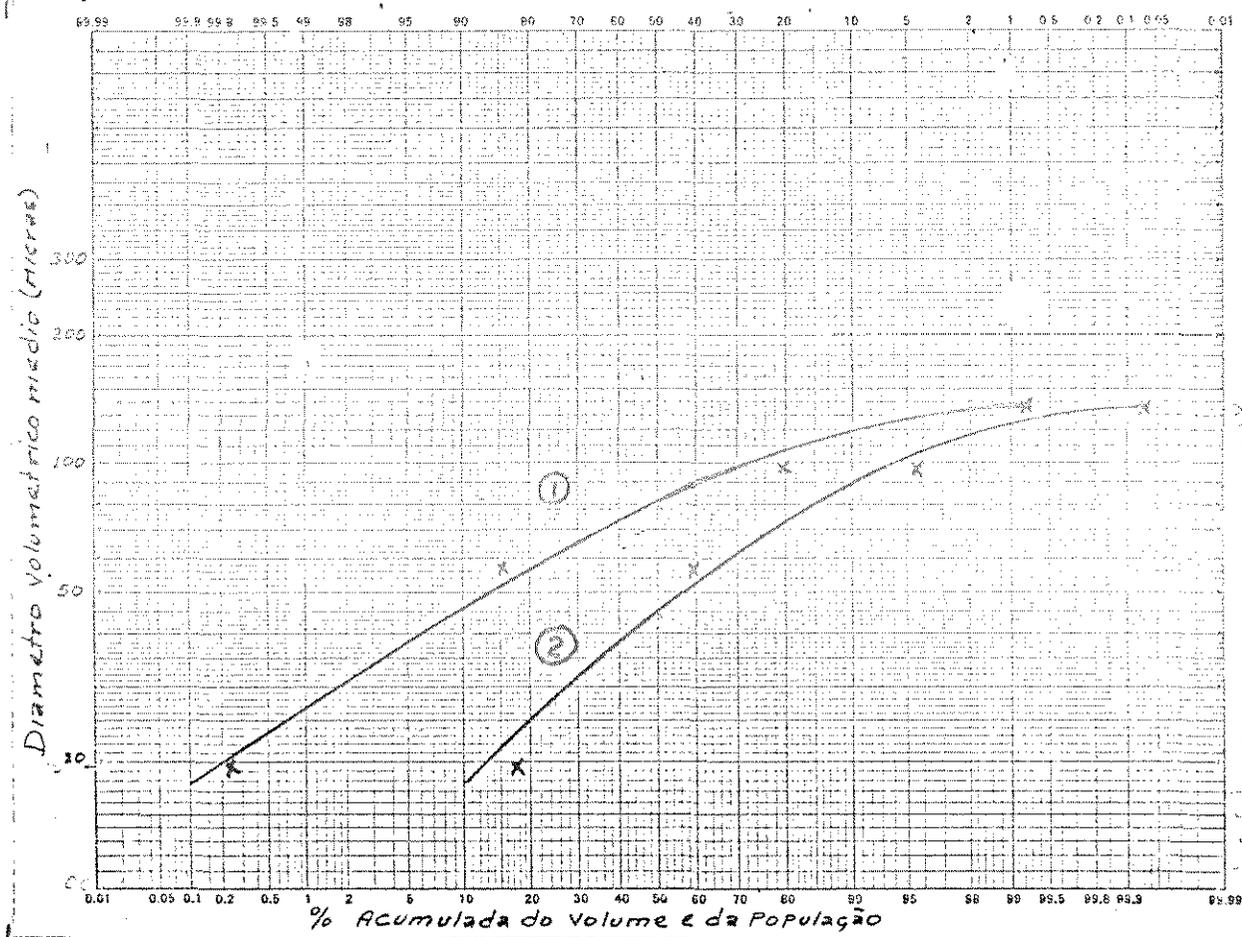


Figura Nº 1 : Curvas de colume ① e população ② para água + rodamina 0.4%, 11775 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

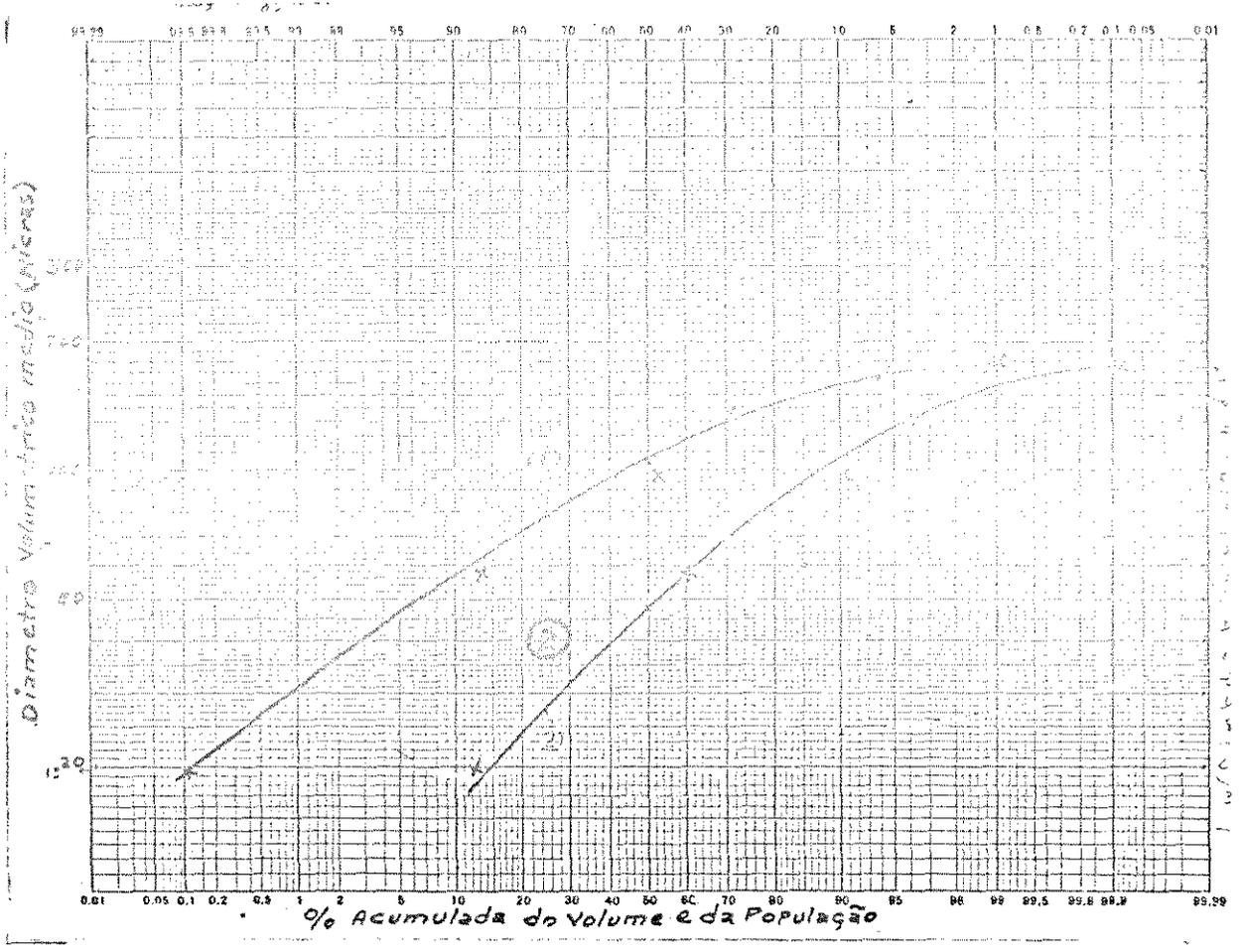


Figura Nº 2 : Curvas para volume ① e população ② para água + rodamina 0.4%, 10599 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

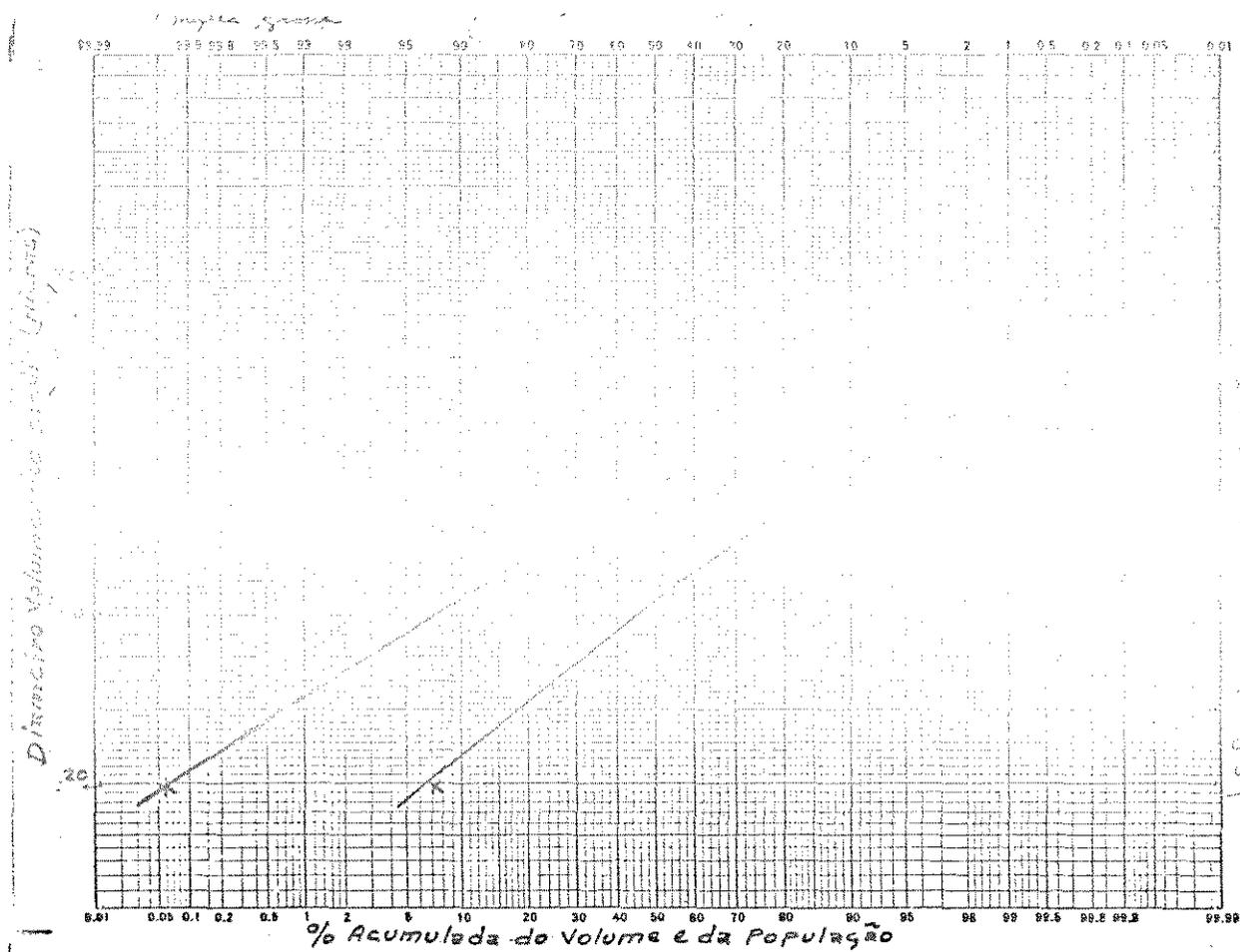


Gráfico N° 3 : Curvas de volume (1) e população (2) para água + rodamina 0.4%, 9645 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal tal 6 m

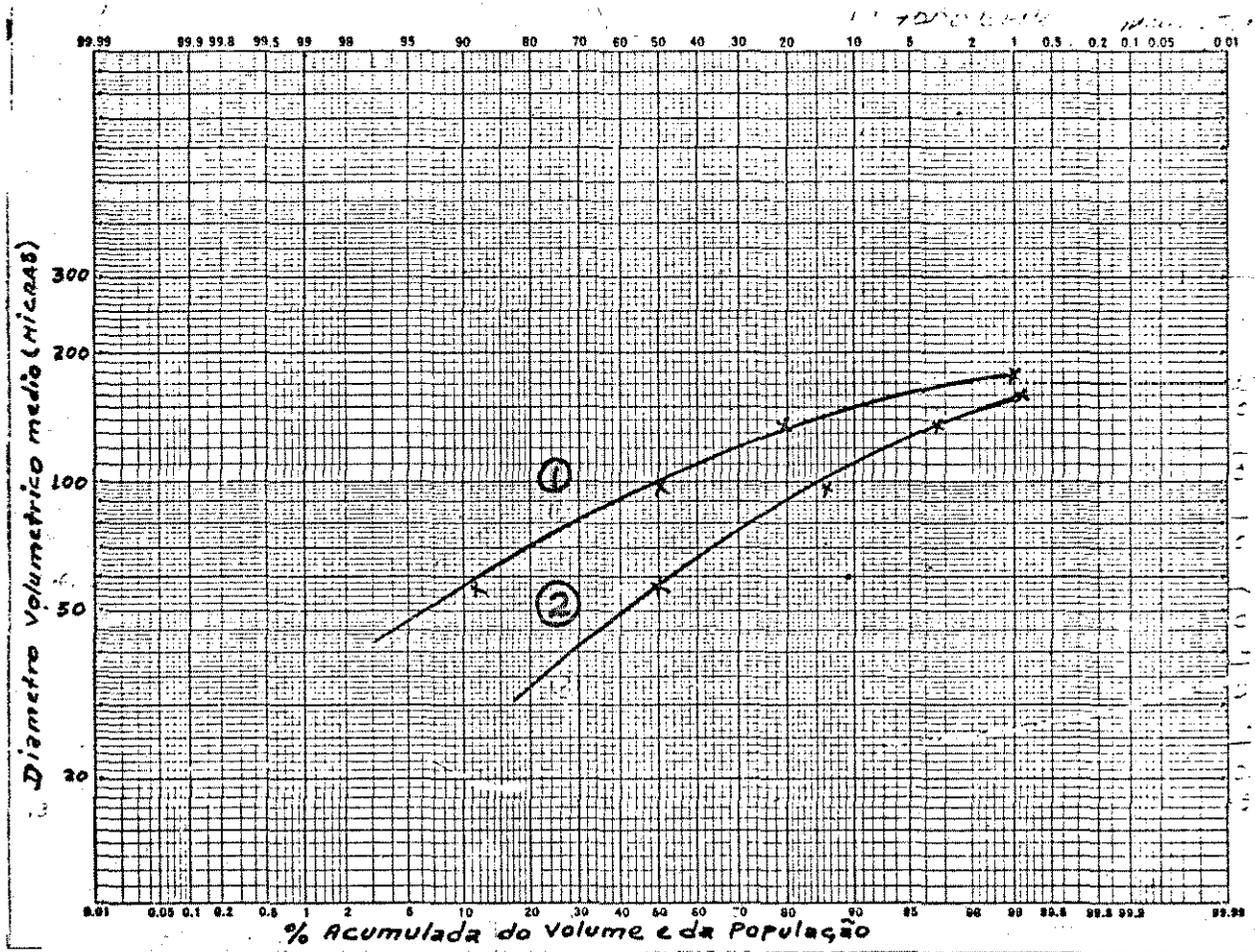


Gráfico Nº 4 : Curvas de volume (1) e população (2) para água + rodamina 0.4%, 8620 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

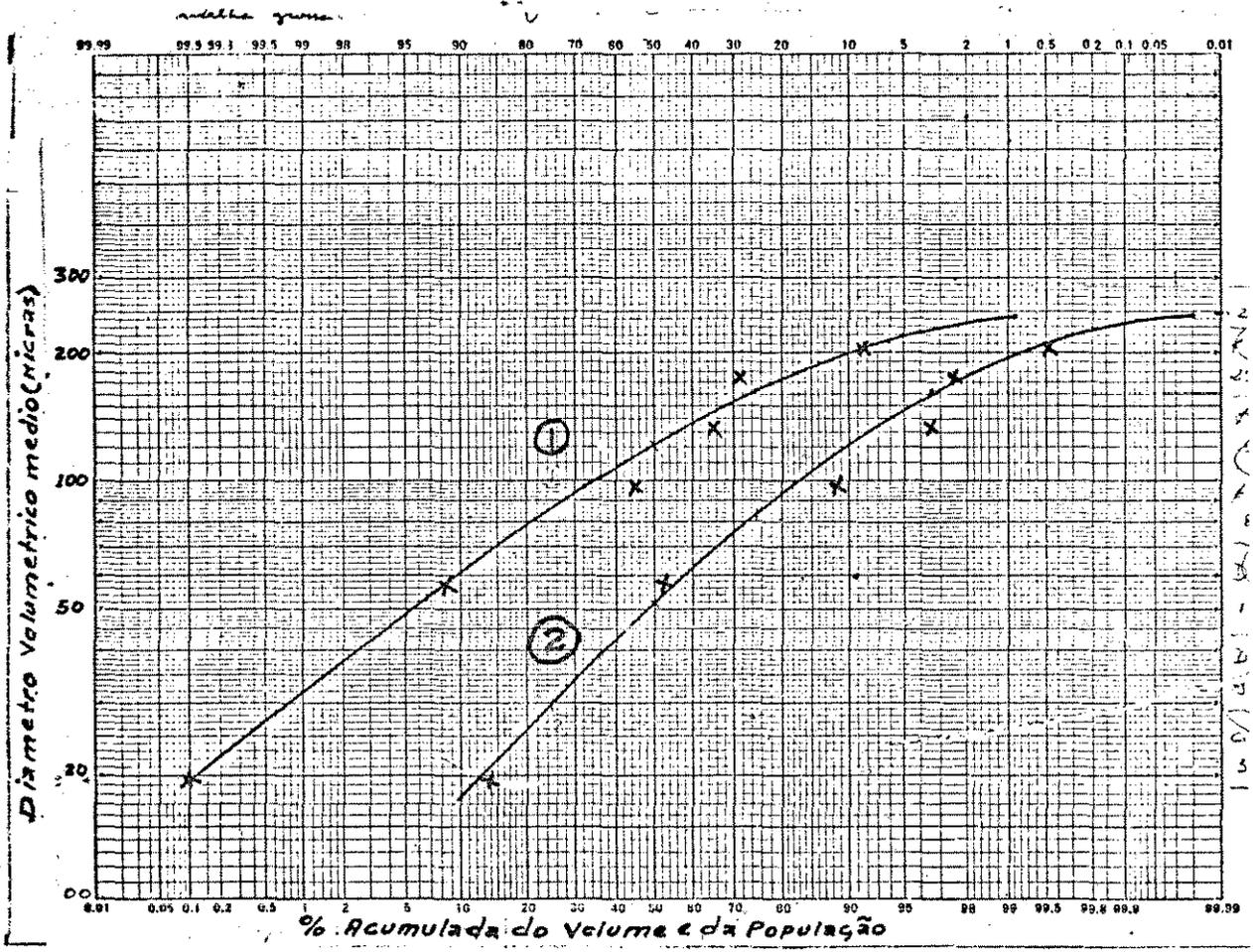


Gráfico Nº 5 : Curvas de volume ① e população ② para água + rodamina 0.4%, 7742 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

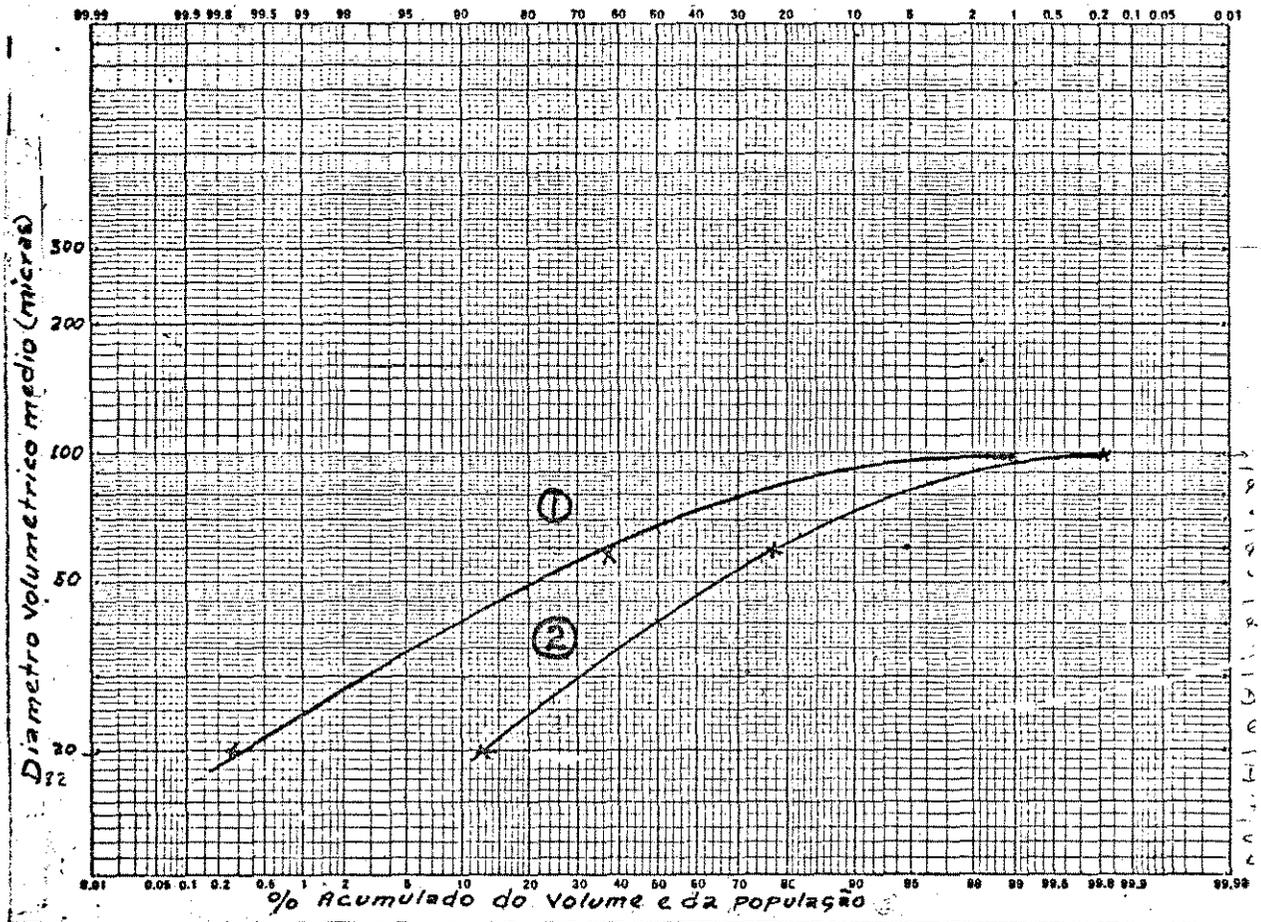


Gráfico Nº 6 : Curvas de volume (1) e população (2) para água + rodamina 0.4%, 11775 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, amostra vertical, distância de coleta de amostras 6 m

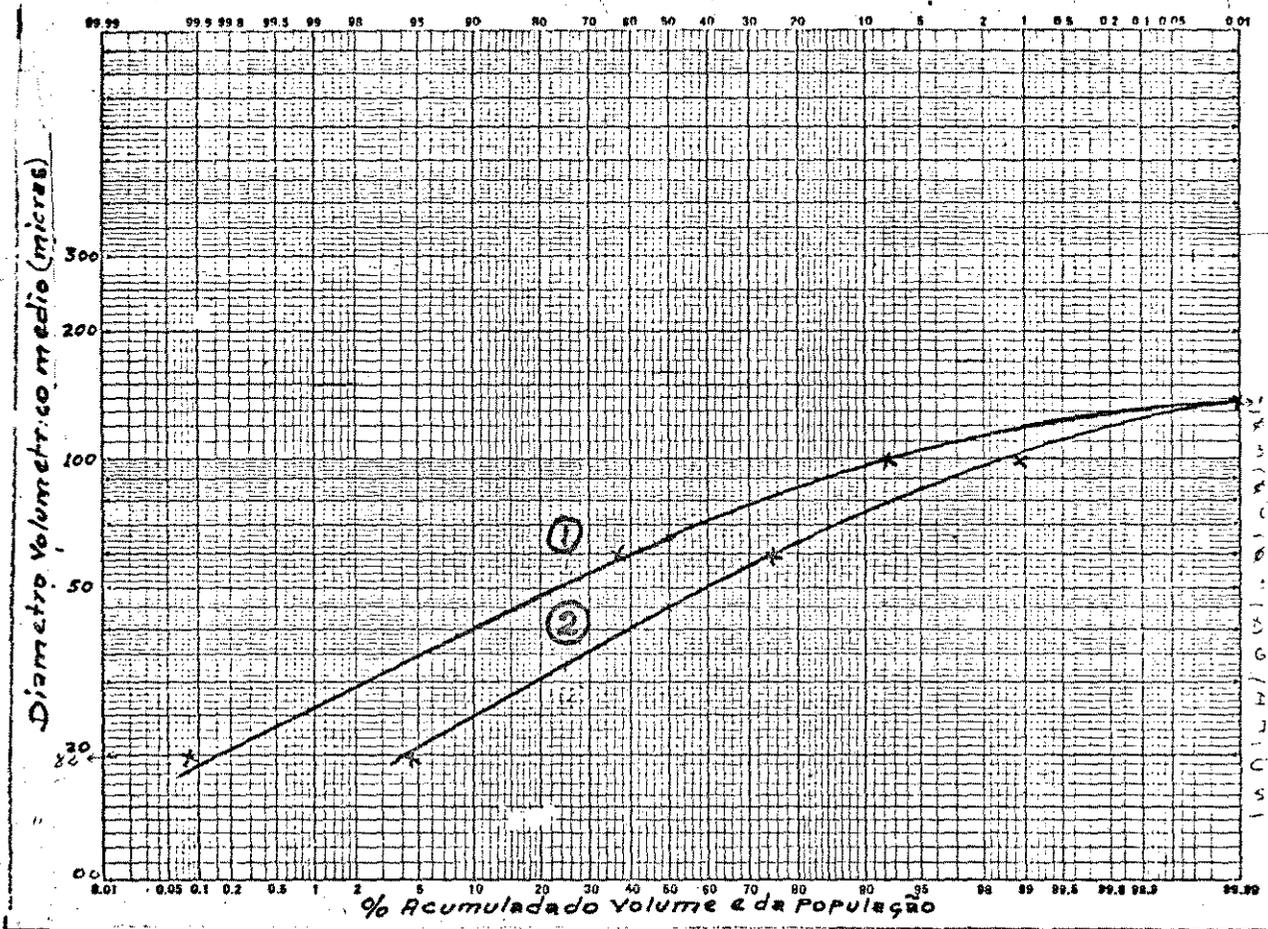


Gráfico Nº 7 : Curvas de coluna (1) e população (2) para água + rodamina 0.4%, 9645 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, amostra vertical, distância de coleta de amostras 6 m

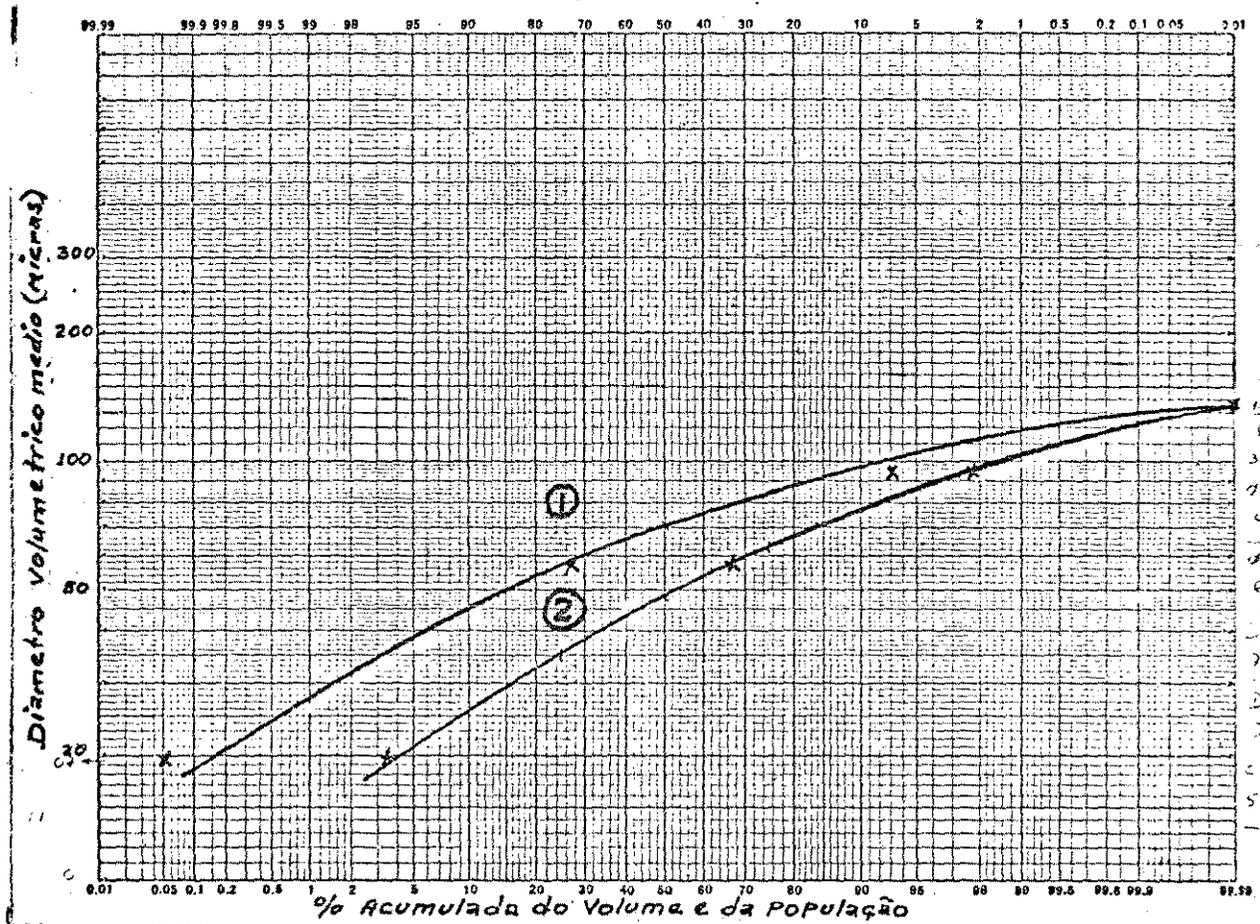


Gráfico N° 8 : Curvas de volume (1) e população (2) para água + rodamina 0.4%, 7742 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, amostra vertical, distância de coleta de amostras 6 m

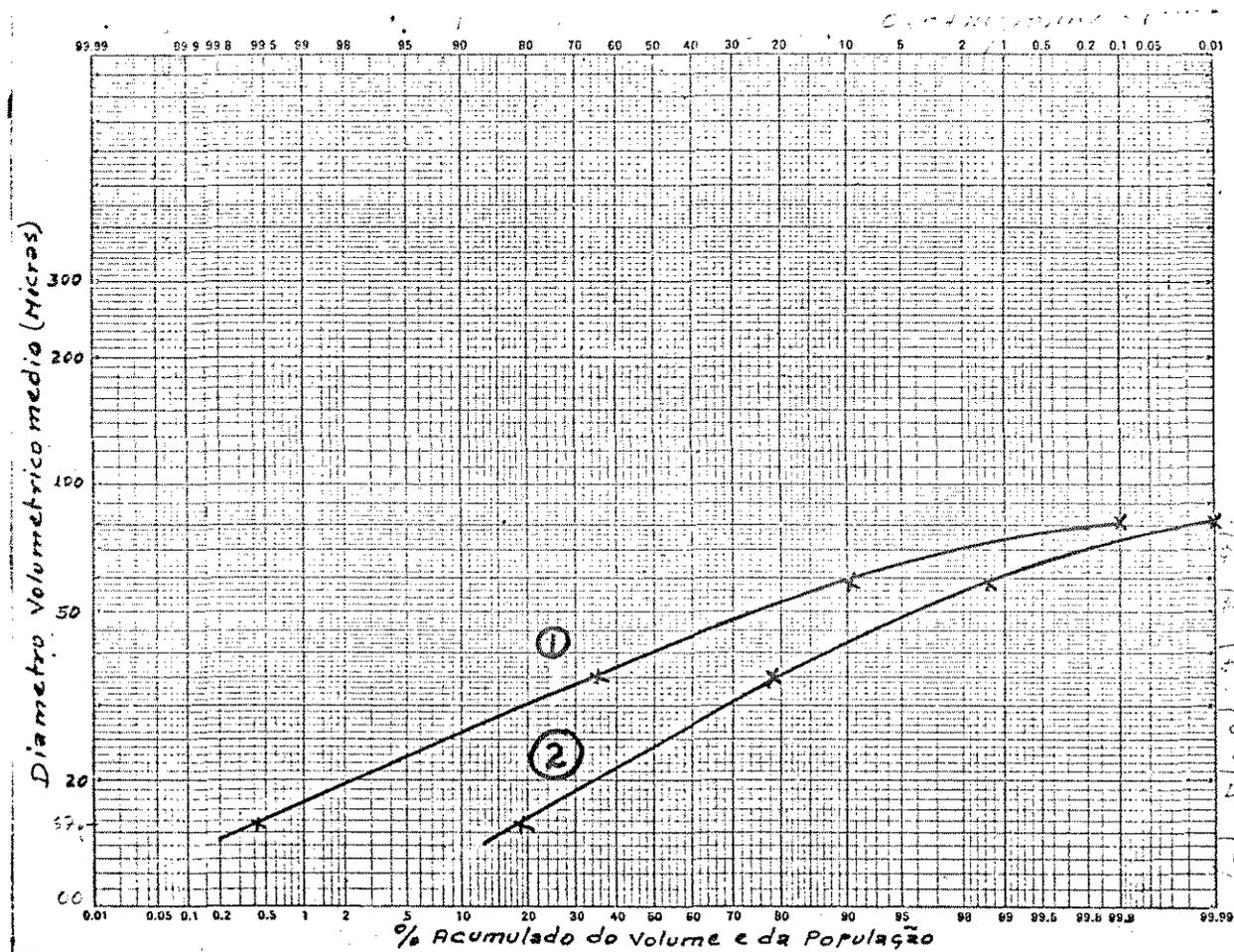


Gráfico N° 9 : Curvas de volume (1) e população (2) para óleo agrícola (spray-oil) 60% + nigrosina 0.4%, 11775 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

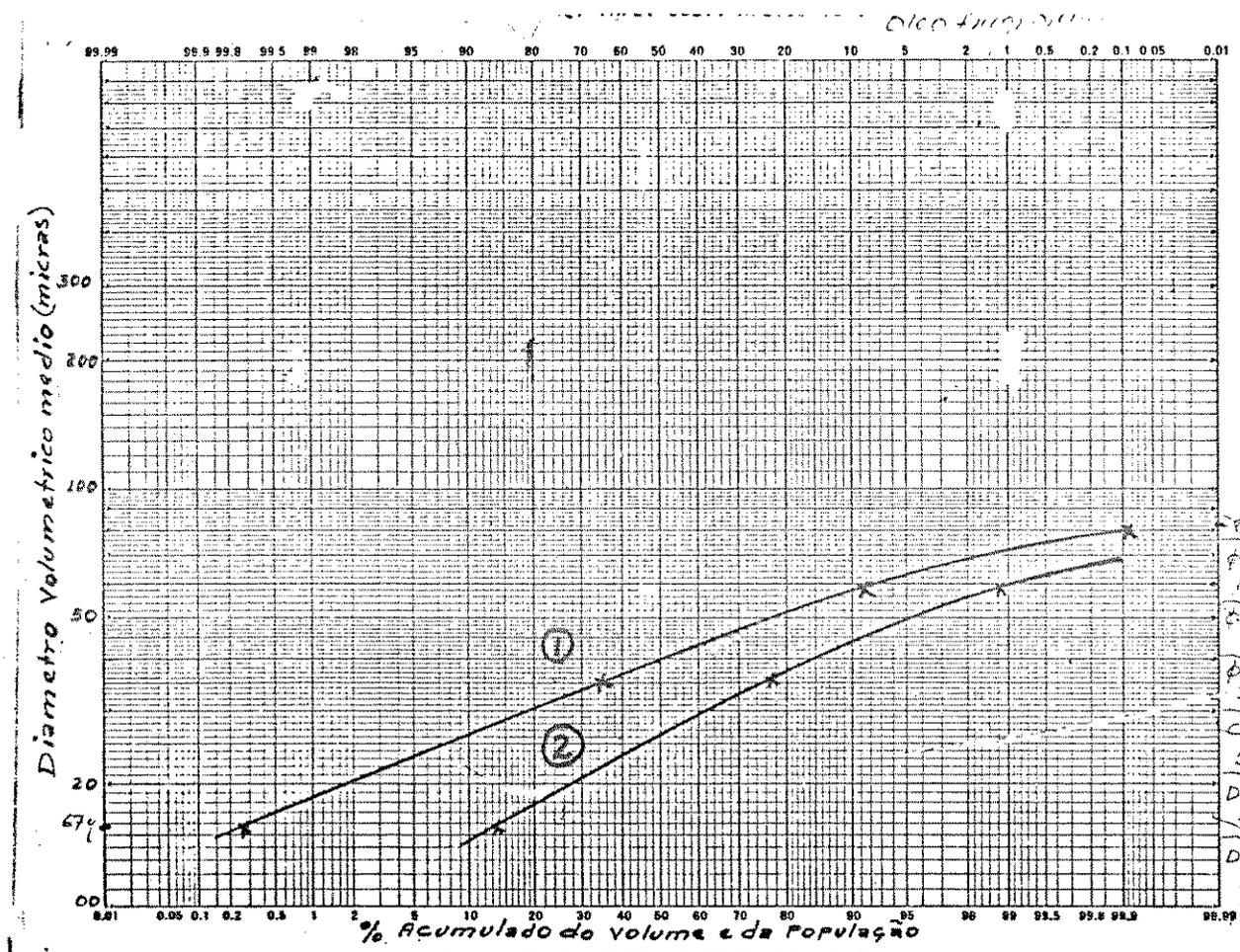


Gráfico Nº 10 : Curvas de volume ① e população ② para óleo agrícola (spray-oil) 60% + nigrosina 0.4%, 10599 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

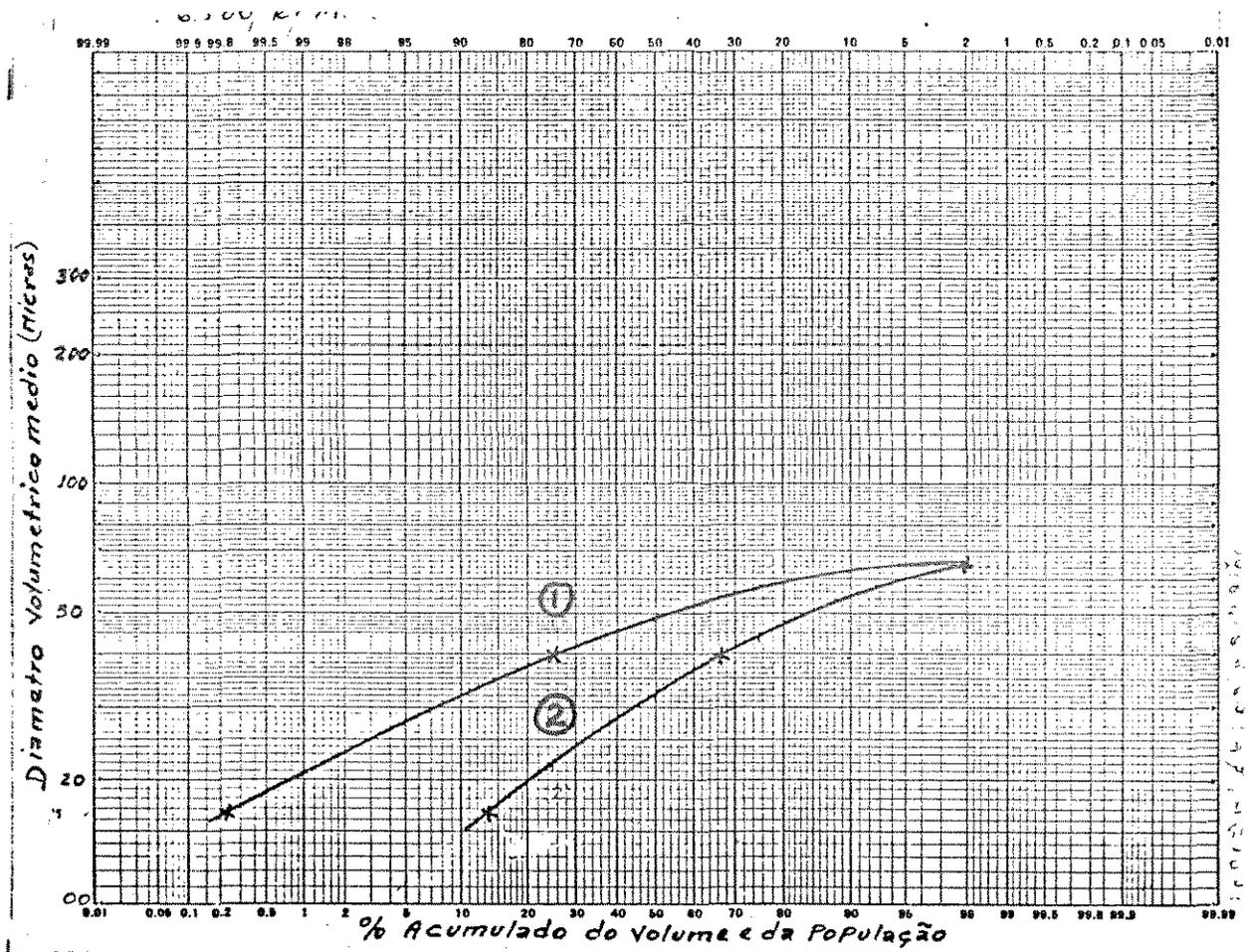


Gráfico Nº 11 : Curvas de volume (1) e população (2) para óleo agrícola 60% + nigrosina 0.4%, 9645 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

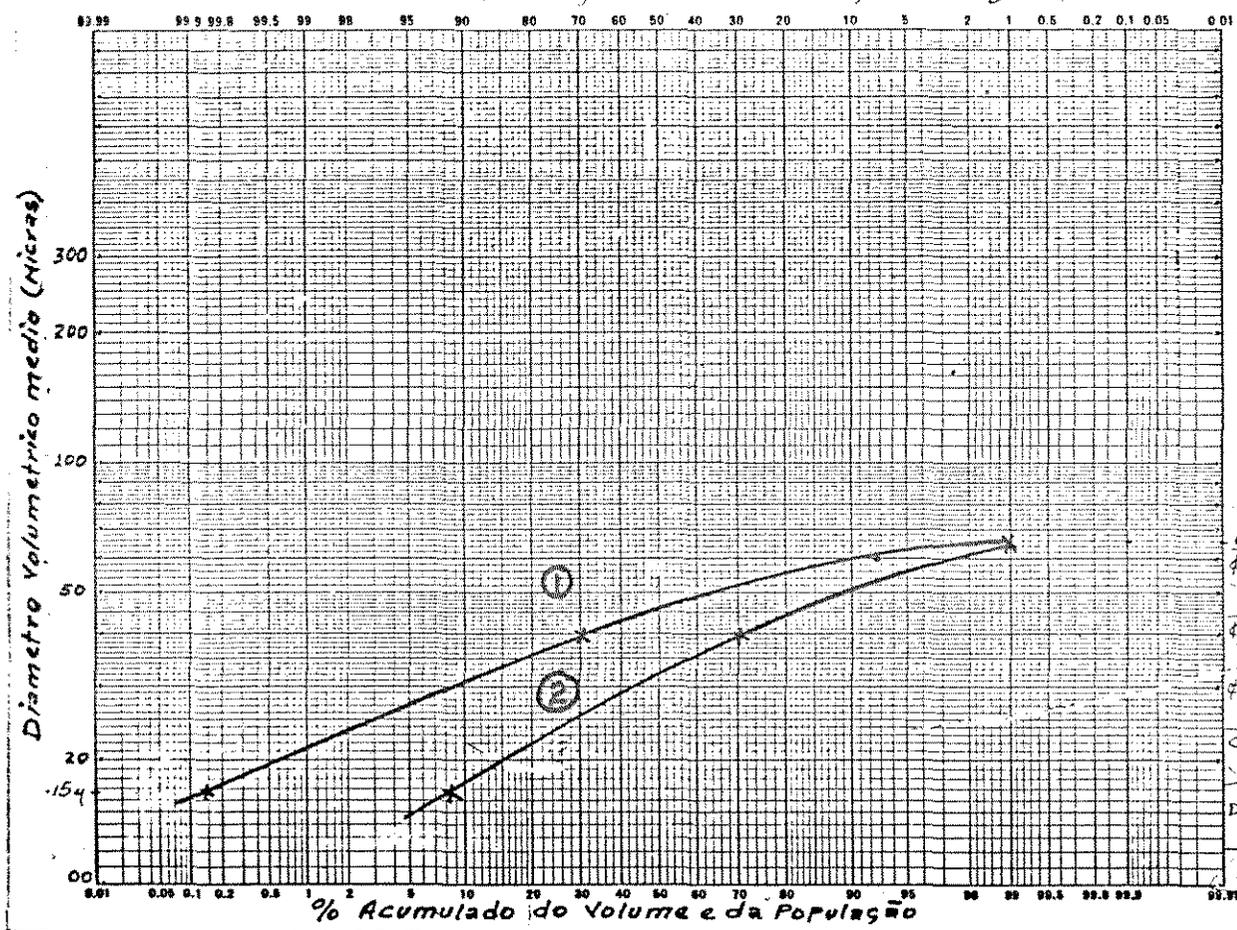


Gráfico Nº 12 : Curvas de coluna ① e população ② para óleo agrícola (spray-oil) 60% + nigrosina 0.4%, 8620 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

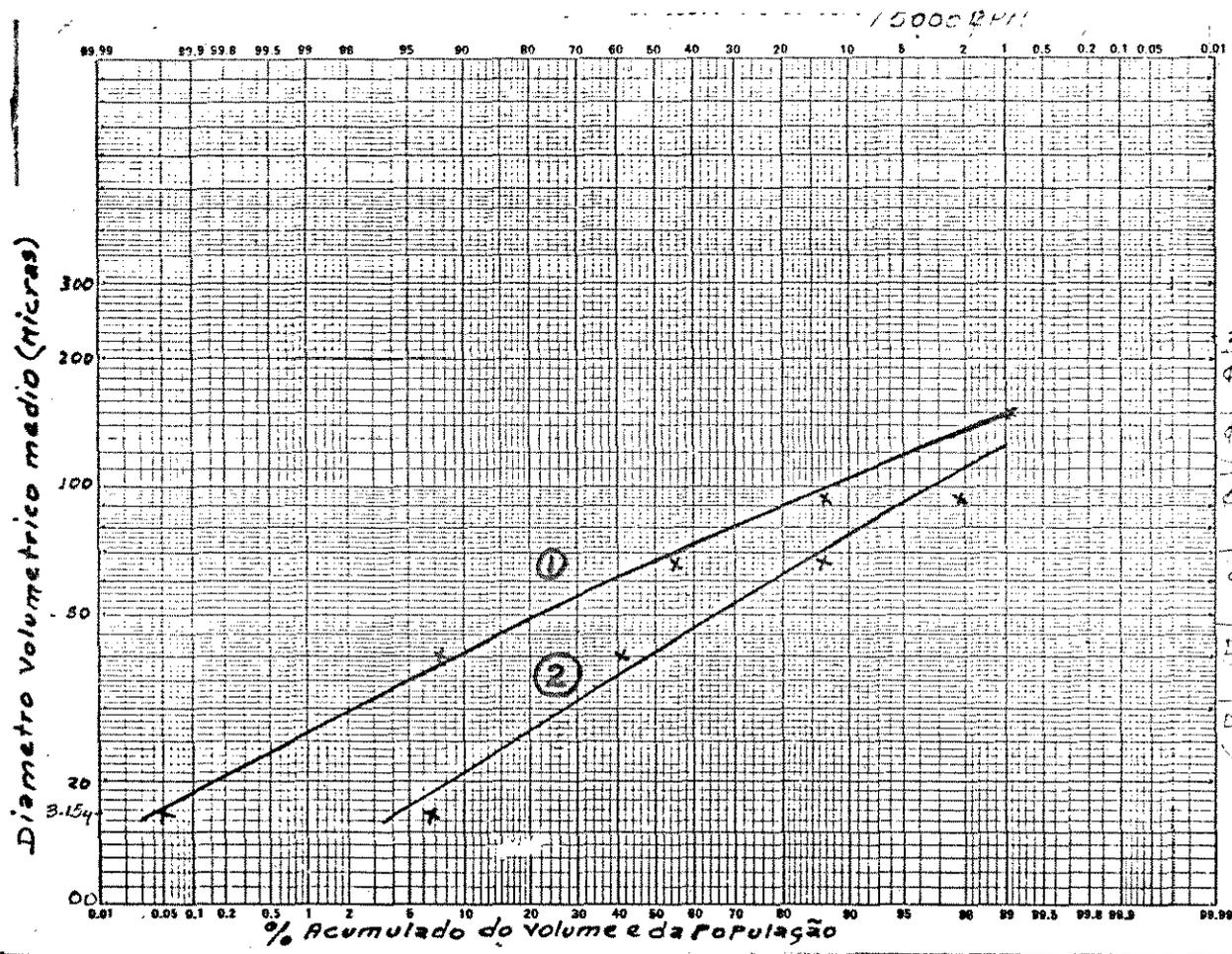


Gráfico Nº 13 : Curvas de volume (1) e população (2) para óleo agrícola (spray-oil) 60% + nigrosina 0.4%, 7742 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, distância de amostragem horizontal 6 m

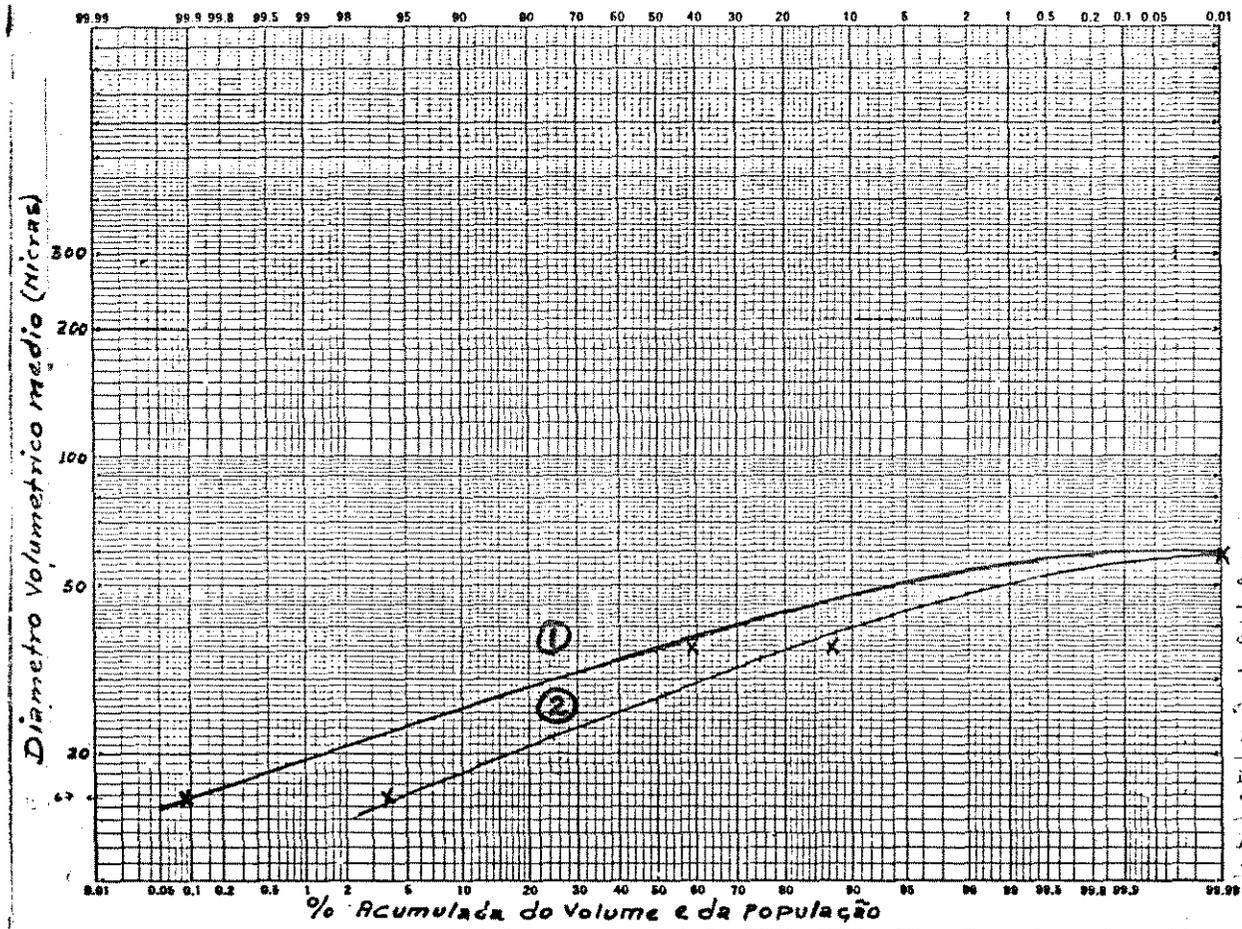


Gráfico Nº 14 : Curvas de volume ① e população ② para óleo agrícola (spray-oil) 60% + nigrosina 0.4%, 11775 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, amostra vertical, distância de coleta de amostras 6 m

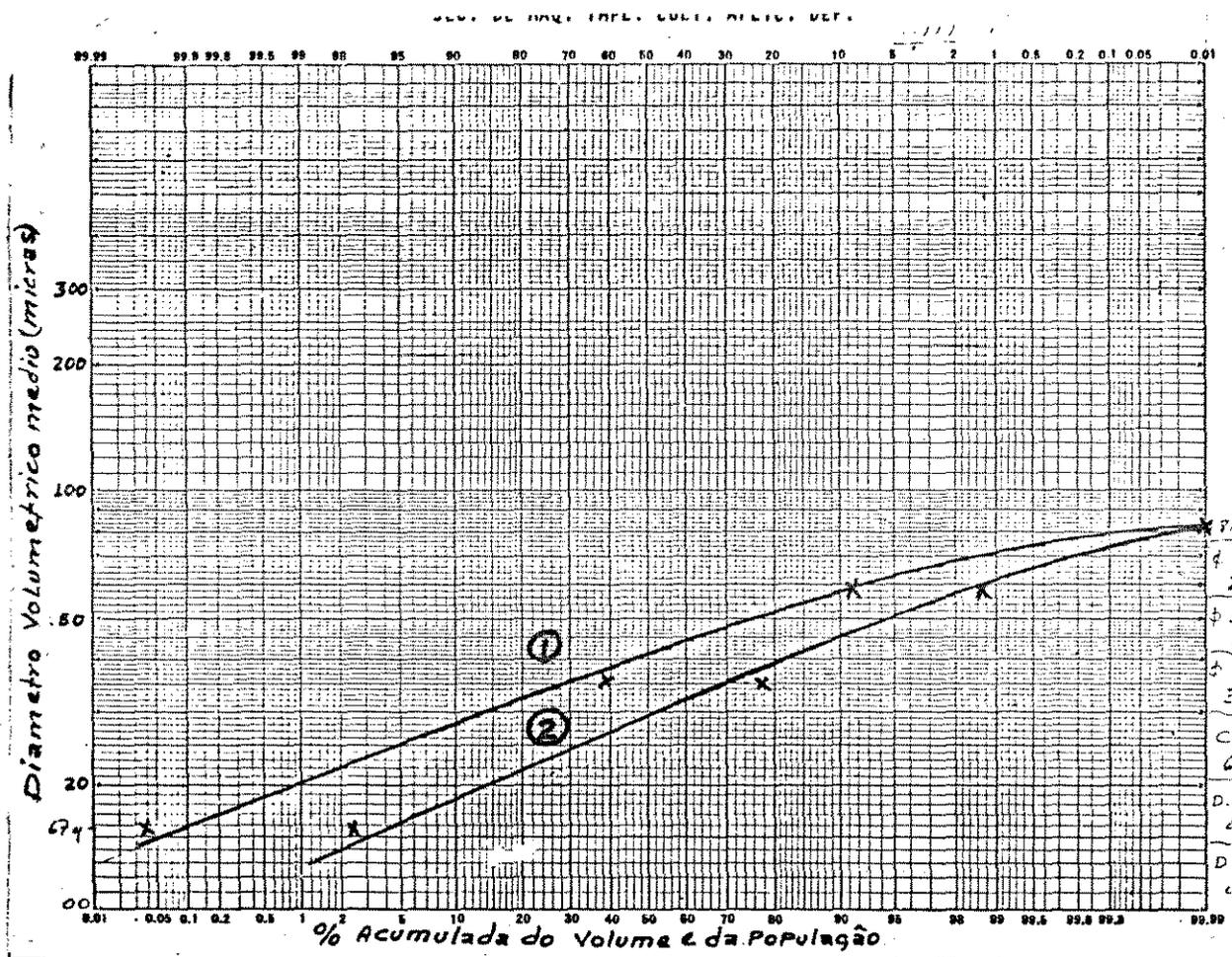


Gráfico N° 15 : Curvas de volume (1) e população (2) para óleo agrícola (spray-oil) 60% + nigrosina 0.4%, 9645 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, amostra vertical, distância de coleta de amostras 6 m

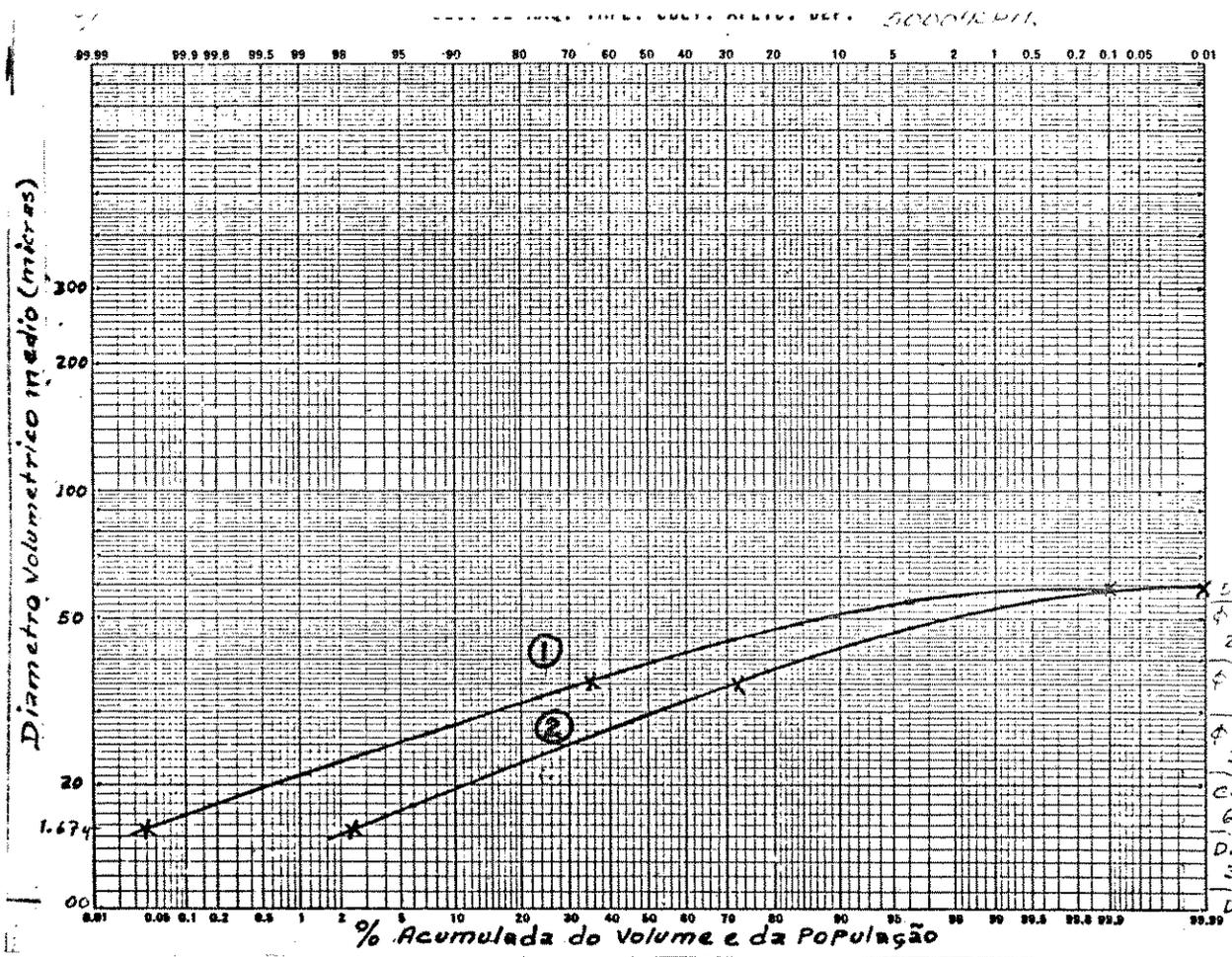


Gráfico Nº 16 : Curvas de volume ① e população ② para óleo agrícola (spray-oil) 60% + nigrosina 0.4%, 7742 RPM do gerador, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>, amostra vertical, distância de coleta de amostras 6 m

APÊNDICE IV

ANÁLISES DE VARIANÇA PARA O  
DIÂMETRO VOLUMÉTRICO MÉDIO

Tabela 1 : Análise de Variância do diâmetro volumétrico médio das amostras horizontais, para aplicações de água+rodamina, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
Fatores de variação, distâncias e RPM do gerador

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F 95%
Velocidades de rotação (5)	4	364.60	91.15	1.78	6.38
Distâncias de lançamento (2)	1	1166.40	1166.40	22.73*	7.71
Erro (Veloc.x Distâncias)	4	205.20	51.30		

\* Diferença significativa

Tabela 2 : Análise de variância do diâmetro volumétrico médio das amostras horizontais, para aplicações de água+rodamina, malha de 64 furos/cm<sup>2</sup>  
Fatores de variação, distâncias e RPM do gerador

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F 95%
Velocidades de rotação (S)	4	1458.40	364.60	6.24	6.38
Distâncias de lançamento (Z)	1	532.90	532.90	9.13*	7.71
Erro (Veloc.x Distâncias)	4	233.60	58.40		

\* Diferença significativa

Tabela 3 : Análise de variância do diâmetro volumétrico médio das amostras verticais para aplicação de água+rodamina, malha de 36 furos/cm<sup>2</sup> Fatores de variação, distâncias e RPM do gerador

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F 95%
Velocidades de rotação (5)	2	20.30	10.15	10.15	19.00
Distâncias de lançamento (2)	1	5.97	5.97	5.97	18.51
Erro (Veloc.x Distâncias)	2	2.00	1.00		

Tabela 4 : Análise de variância do diâmetro volumétrico médio das amostras horizontais, para aplicações de óleo agrícola+nigrosina, com malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
Fatores de variação, distâncias e RPM do gerador

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F 95%
Velocidades de rotação (5)	4	657.40	164.35	38.88*	6.38
Distâncias de lançamento (2)	1	96.10	96.10	19.81*	7.71
Erro (Veloc.x Distâncias)	4	19.40	4.85		

\* Diferença significativa

Tabela 5 : Análise de variância do diâmetro volumétrico médio das amostras horizontais, para aplicações de óleo agrícola+nigrosina, com malha de 64 furos/cm<sup>2</sup>  
Fatores de variação, distâncias e RPM do gerador

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F 95%
Velocidades de rotação (5)	4	1043.40	260.85	5.14	6.38
Distâncias de lançamento (2)	1	202.50	202.50	3.99	7.71
Erro (Veloc.x Distâncias)	4	203.00	50.75		

Tabela 6 : Análise de variância do diâmetro volumétrico médio das amostras verticais, para aplicações de óleo agrícola+nigrosina, com malha de 36 furos/cm<sup>2</sup>  
Fatores de variação, distâncias e RPM do gerador

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F 95%
Velocidades de rotação (3)	2	79	39.50	2.55	19.00
Distâncias de lançamento (2)	1	6	6.00	0.39	18.51
Erro (Veloc.x Distâncias)	2	31	15.50		

Tabela 7 : Análise de variância do diâmetro volumétrico médio das amostras verticais, para aplicações de óleo agrícola+nigrosina, com malha de 64 furos/cm<sup>2</sup>  
Fatores de variação, distâncias e RPM do gerador

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	F 95%
Velocidades de rotação (3)	2	688.00	344.00	19.11*	19.00
Distâncias de lançamento (2)	1	96.00	96.00	5.33	18.51
Erro (Veloc.x Distâncias)	2	36.00	18.00		

\* Diferença Significativa