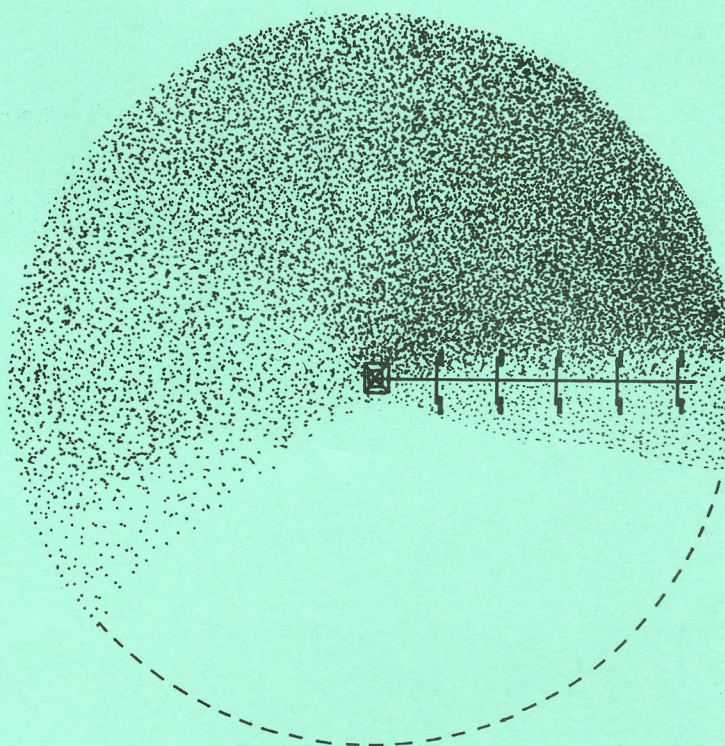


## VII CURSO DE USO E MANEJO DE IRRIGAÇÃO



EMBRAPA  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo  
35 700 Sete Lagoas-MG

MARA  
Ministério da Agricultura  
e Reforma Agrária



1288

VII CURSO DE USO E  
MANEJO DE IRRIGAÇÃO

13 a 31 maio de 1991

CNPMS Sete Lagoas-MG

# AVALIAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM PIVÔ CENTRAL.

ENIO FERNANDES DA COSTA \*

## 1. Sistema Pivô Central

A exemplo do autopropelido, este também é um sistema móvel contínuo. Entretanto, trata-se de uma linha lateral móvel (ao invés de apenas um aspersor), com deslocamento angular (circular). Esta lateral contém vários aspersores e tem uma extremidade presa a um ponto central, em torno do qual gira. A sustentação e movimento da tubulação é feita mediante estruturas metálicas, chamadas "torres", dotadas de rodas e mecanismo de propulsão, localizadas a intervalos fixos (geralmente em torno de 45 m) do comprimento da linha. A velocidade também é regulável.

Este sistema tem a peculiaridade de usar uma linha lateral para irrigar em círculo, o que significa que um aumento linear no comprimento implica em aumento exponencial (quadrático) da área irrigada. Tal característica requer critérios especiais quanto à distribuição e vazão dos aspersores, para atender as exigências de uniformidade na aplicação da água.

## 2. AVALIAÇÃO DE SISTEMAS DE ASPERSÃO

A característica operacional do aspersor, emitindo um jato que se atomiza, resulta na aplicação de uma quantidade de água ao solo/planta que varia na medida em que aumenta a distância a partir do aspersor. Isso gera a necessidade de sobreposição entre aspersores vizinhos, ou posições adjacentes, para propiciar a aplicação de uma lâmina mais uniforme (Ver Figura ).

Outro aspecto relevante é o fato de a água ter de atravessar um espaço aéreo antes de atingir seu alvo, ficando portanto exposta às condições de ventos e evaporação, ambos causadores de perdas de água. A evaporação é diretamente afetada pela umidade relativa e temperatura do ar.

Além disso, a água que se infiltra no solo não será na mesma quantidade em todos os pontos, uma vez que a distribuição espacial não é perfeitamente uniforme. Consequentemente o volume armazenado na zona radicular deverá diferir do volume total infiltrado, pois nos pontos que receberam maiores lâminas haverá perdas por percolação profunda.

Todos esses fatores contribuem para uma melhor ou pior performance do sistema de irrigação utilizado, afetando assim a eficiência global da irrigação.

No manejo de um sistema de irrigação é necessário o conhecimento do desempenho através dos parâmetros de eficiência, em que o mesmo está operando, tais como: eficiência de aplicação (Ea), uniformidade de distribuição (UD), eficiência de armazenamento (Es), perdas por percolação profunda (Dp) e eficiência de irrigação (Ei). A tendência atual na pesquisa é ajustar a distribuição de água obtida no teste de uniformidade de um aspersor a uma função matemática e desenvolver um modelo matemático que venha estabelecer os parâmetros que determinam o desempenho do sistema. As etapas geralmente seguidas na avaliação são:

- . Desenvolvimento, no campo, de um teste de uniformidade de aplicação d'água por aspersão.
- . Cálculo da uniformidade de aplicação, UD e CU
- . Eficiência de aplicação, Ea

### 2.1. Parâmetros de Avaliação

O termo Eficiência exprime qual proporção da água aplicada ou conduzida que é efetivamente aproveitada pela planta, ou seja, descontadas as perdas (evaporação, efeito de ventos, percolação profunda), que fração da água ficará armazenada na zona radicular.

A Uniformidade, por sua vez, expressa a "homogeneidade" havida na aplicação da água, isto é, até que grau as quantidades (lâminas) d'água aplicadas nos vários pontos da área irrigada diferem da média. No caso da aspersão, a medida da Uniformidade reflete a distorção ocorrida no momento da aplicação, geralmente ocasionada por ventos, pelas características do aspersor e condi

### PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO

- . UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO - UD
- . COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE - CU

PRECIPITAÇÕES → MÉDIA GERAL, MÉDIA 1/4 MENOR, MÍNIMA DIÁRIA  
MÉDIA APLICADA, TOTAL APLICADA, MÁXIMA APLICADA

EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO → POTENCIAL E POTENCIAL ESTIMADO

# PIVÔ CENTRAL

## 5. INSTALAÇÕES PARA ENSAIO DE DESEMPENHO

### 5.1 Localização e caracterização da área de ensaio

5.1.1 O ensaio deverá ser conduzido dentro da área irrigada, preferencialmente em local topograficamente representativo da mesma.

5.1.2 Em relação ao solo, deve ser indicada sua condição de água e de cultivo.

5.1.3 Deve ser indicada a cultura ou vegetação natural existente no terreno no momento de ensaio, indicando a fase de desenvolvimento, a altura média e altura máxima das plantas.

5.1.4 Devem ser descritos os obstáculos ao vento ou cortinas quebra-vento que possam afetar o fluxo do ar na área do ensaio, indicando-se: tipos, alturas, densidade, distância e posição em relação à área irrigada.

5.1.5 Deve ser descrito o microrelevo do terreno dando ênfase às situações que influenciam a retenção de água superficial.

### 5.2 Descrição e localização dos coletores de água

5.2.1 Todos os coletores devem ser idênticos e de acordo com a 12:02.08-001 e 12:02.08-002.

5.2.2 Os coletores devem ser instalados em duas linhas radiais com ângulo de  $3^{\circ}$  aproximadamente entre elas.

5.2.3 O espaçamento entre os coletores nas linhas deve ser o mesmo e inferior a 9 m, preferencialmente entre 4 m e 6 m; e corresponder, quando possível, a um submúltiplo do vão entre as torres do equipamento.

5.2.4 As linhas de coletores devem ultrapassar a máxima distância alcançada pelo jato de água do último aspersor do pivô central.

5.2.5 Os coletores em cada linha devem ser numerados em ordem crescente a partir do ponto de pivô (posição zero).

5.2.6 Com a finalidade de evitar um tempo de ensaio muito longo, poder-se-á deixar de instalar os coletores situados até aproximadamente um oitavo do raio do círculo irrigado a partir do ponto do pivô. Os números de posições que corresponderiam a esses coletores não instalados deverão ser contados quando forem determinados os números de posições dos coletores.

5.2.7 A altura do bordo superior dos coletores (desde a superfície do terreno) deve ser aproximadamente a mesma e ficar em torno de 30 cm acima das plantas existentes na área do ensaio.

### 5.3 Descrição e localização dos medidores de parâmetros climáticos

5.3.1 Os equipamentos para determinação de parâmetros climáticos devem ser instalados fora da área do ensaio, em local onde o microclima não seja significativamente diferente daquele da área e a uma distância não maior que 50 m da área irrigada correspondente ao ensaio.

5.3.2 A velocidade do vento deve ser determinada com anemômetro totalizador de concha ou outro equipamento de precisão semelhante ou superior. Preferencialmente deve ser utilizado aparelho registrador para obter informações contínuas durante o ensaio. O equipamento deve ser instalado dentro de uma faixa compreendida entre a altura dos bocais dos aspersores e a altura máxima da trajetória do jato de água.

5.3.3 A direção do vento deve ser determinada com instrumento que a indique em octantes da rosa dos ventos.

5.3.4 A evaporação ocorrida durante o ensaio deverá ser determinada com o mesmo tipo de coletores de água.

## 6 DURAÇÃO DO ENSAIO

6.1 A hora de início é marcada quando a água aspergida pelo sistema pivô central em deslocamento alcança um ou mais coletores instalados.

6.2 Quando a linha lateral tiver alcançado uma posição onde a água aspergida não mais atinge os coletores, o ensaio é dado por terminado.

6.3 No caso de ocorrer precipitação pluvial durante o ensaio, o mesmo fica inválido.

## 7 COLETA DE DADOS

### 7.1 Vazão

7.1.1 A vazão total do sistema deve ser preferencialmente determinada durante o ensaio, através de medidor de vazão com observações ou leituras a cada dez minutos. Caso não haja medidor de vazão instalado no equipamento, esta pode ser pelo menos estimada, considerando:

- a) volumes de água recebidos nos coletores;
- b) evaporação;
- c) vazão utilizada na propulsão, se houver;
- d) tempo por volta

7.1.2 Em caso de mecanismo de propulsão hidráulica, deve ser determinada a vazão utilizada pelo mesmo.

7.1.3 As determinações de vazão devem ser procedidas através de um método com imprecisão máxima tolerável de  $\pm 3\%$ . Deve-se relatar a metodologia utilizada.

### 7.2 Pressão

7.2.1 Devem ser determinadas as pressões da água nos seguintes pontos:

- a) entrada da linha lateral;
- b) último aspersor;
- c) alguns aspersores intermediários; quando existirem reguladores de pressão nos aspersores, deverá ser feita uma medição a cada dez aspersores consecutivos.

7.2.2 A pressão nos aspersores deve ser determinada imediatamente antes ou depois do ensaio. A pressão na entrada da linha lateral deve ser determinada a intervalos regulares durante o ensaio e também quando forem determinadas as pressões nos aspersores.

7.2.3 As determinações de pressão devem ser procedidas com manômetros tolerando-se uma imprecisão máxima de  $\pm 3\%$ .

### 7.3 Volume de água nos coletores

7.3.1 A medição da água captada em cada coletor deverá começar o quanto antes possível, após o coletor deixar de receber água do sistema.

7.3.2 Deverão ser consideradas para efeito de cálculos as medições obtidas nos

coletores situados dentro do raio do círculo irrigado. Caso este raio não esteja definido, as medições obtidas nos coletores extremos cujas leituras sejam inferiores a 70% da média aritmética do total das medições, deverão ser eliminadas do cálculo.

7.3.3 Para efeito de cálculo devem ser utilizadas as médias aritméticas dos volumes captados nos coletores do mesmo número de posição.

#### 7.4 Parâmetros climáticos

7.4.1 Deverão ser feitas, no mínimo, duas determinações de evaporação uma na metade e outra ao final do ensaio, em dois ou mais coletores que contenham uma lâmina de água aproximadamente igual à que se espera seja aplicada durante o mesmo.

7.4.2 A velocidade do vento deverá ser determinada preferencialmente de forma contínua ou mediante determinações a intervalos máximos de 10 minutos.

7.4.3 A temperatura e a umidade relativa do ar deverão ser determinadas com instrumentos apropriados, no início e no final do ensaio.

7.5 Deve ser determinada a velocidade de deslocamento da última torre.

7.6 Deve ser observado e qualificado o escoamento superficial a 3/4 e ao final das linhas de coletores.

### 8 APRESENTAÇÃO DE DADOS

#### 8.1 Formulários

Os dados relativos à área irrigada e os obtidos no ensaio devem ser apresentados nos formulários A, B e C, do Anexo.

#### 8.2 Croqui

8.2.1 Deve ser feito um croqui contendo os seguintes dados:

a) cota do terreno no ponto do pivô;

b) cotas máximas e mínimas nas linhas de coletores;

c) área coberta pelo sistema, indicando nesta a posição das linhas de coletores;

d) Indicar irregularidades significativas do terreno;

e) direção do norte magnético ou geográfico;

f) localização de cortinas, quebra-ventos, ou outros obstáculos ao vento,

Indicando suas distâncias à área irrigada;



g) Indicar a direção predominante do vento durante o ensaio;

8.2.2 Devem ser anotadas as seguintes declividades:

a) máxima que terá a linha lateral;

b) média mais comum do terreno;

c) média do terreno nas linhas dos coletores;

d) quaisquer outras declividades significativas

8.3 Outras informações

a) gráfico das lâminas coletadas ao longo das linhas de coletores;

b) escozimento superficial;

c) descrição dos quebraventos;

d) qualidade da água (considerando os fatores que possam afetar o desempenho do sistema);

e) observações, comentários e recomendações não previstas nos formulários nem no croqui;

f) planilhas de campo

Formulário C - Dados do ensaio de desempenho de pivo central

Ensaio \_\_\_\_\_

Coletores \_\_\_\_\_

Quantidade total \_\_\_\_\_ Qtid. coletores/linha \_\_\_\_\_ Relação lâmina/vol \_\_\_\_\_ mm/cm

Espaçamento entre torres \_\_\_\_\_ m. Espaçamento entre coletores \_\_\_\_\_ m.

vão nº	Coletores					vão nº	Coletores				
	Posição nº	Volume coletado (cm <sup>3</sup> )			Vol. Ponder.		Posição nº	Volume coletado (cm <sup>3</sup> )			Vol. Ponder.
		Linha A	Linha B	Média Arit.				Linha A	Linha B	Média Arit.	
TORRES	S.N			D.N	D.N	S.N (D.N - EXP)					
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	6										
	7										
	8										
	9										
	10										
	11										
	12										
	13										
	14										
	15										
	16										
	17										
	18										
	19										
	20										
	21										
	22										
	23										
	24										
	25										
	26										
	27										
	28										
	29										
	30										
	31										
	32										
	33										
	34										
	35										
	36										
	37										
	38										
	39										
	40										
	41										
	42										
	43										
	44										
	45										
	46										
	47										
	48										
	49										
	50										

Soma total dos volumes ponderados =  
 Soma total das posições utilizadas =  
 Soma dos volumes ponderados dos 25% menores volumes coletados =  
 Soma dos nºs de posições correspondentes aos 25% menores volumes coletados =  
 Ver exemplo no Anexo B

ANEXO B - Exemplo de cálculo da uniformidade de distribuição

Uma maneira de analisar a distribuição da água é examinando a uniformidade atingida pela mesma numa determinada porção da área irrigada. A porção selecionada deve incluir a área que menos água recebe pela irrigação.

Assim, se a porção selecionada é a metade da área, examinar-se-á a uniformidade na metade do campo que recebe menos água.

A uniformidade de distribuição, UD, é uma medida da distribuição da água que utiliza a quarta parte da área irrigada total que recebe menos água - como unidade de análise. Nos sistemas de irrigação por aspersão, UD é definida pela seguinte expressão:

$$UD = \frac{d(25)}{D} \times 100$$

Onde:

d (25) = média da quantidade de água recebida nos 25% da área total que recebe menos água.

D = média da quantidade de água recebida na área total irrigada.

Nos ensaios de desempenho de sistemas de aspersão, a água recebida em cada coletor é a média da quantidade de água recebida na área representada pelo coletor.

No caso de coletores representando áreas iguais considera-se:

d (25) = média da quantidade de água coletada nos 25% dos coletores correspondentes aos menores volumes

D = média da quantidade de água coletada em todos os coletores.

Se os coletores não representam áreas iguais, como nos ensaios de pivô central, d (25) e D deverão ser ponderados.

Neste caso, para o cálculo de d (25) selecionam-se os menores volumes em ordem crescente até que a soma de seus correspondentes números de posição atinjam aproximadamente os 25% da soma total dos números de posição utilizados.

No exemplo, citado na Tabela 1, os 25% da soma total dos números de posição são 33,75 (0,25 x 135) e os números selecionados são 11, 16, e 12 (11 + 16 + 12 = 39) que correspondem respectivamente aos menores volume em ordem crescente. Os volumes ponderados correspondentes a esses coletores são 1342, 1968 e 1560, e o va

lor ponderado de d (25) é:

$$\frac{1342 + 1968 + 1560}{39} = 125 \text{ ml}$$

39

$$\bar{X}_p = \frac{\sum_{i=1}^n D_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

)- A média ponderada de todos os coletores é 138 ml (..... 18640/135) e a Uni

formidade de Distribuição é:

$$UD = \frac{125}{138} \times 100 = 90,8\%$$

$$CVC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |D_i - \bar{X}_p|}{\sum_{i=1}^n S_i D_i} \right)$$

TABELA 1 - Procedimento de cálculo para determinar o UD.

Coluna	(1) $S_i$	(2) $D_i$	(3) $D_i S_i$	(4) $D_i - \bar{X}_p$	(5) $S_i (D_i - \bar{X}_p)$
Vão nº	Coletor nº	Volume coletado (ml)	Volume ponderado	Desvio da média (ml)	
1			$1385 \div 10 = 138$	$138 - 141$	
2					
3	9	141	1269	3	27
	10	160	1600	22	220
	11	122	1342	16	176
	12	130	1560	8	96
4	13	143	1859	5	65
	14	150	2100	12	168
	15	134	2010	4	60
	16	123	1968	15	240
5	17	144	2448	6	102
	18	138	2484	0	0
Soma	135	1385	18640		1154

$$33,75 = (25\% \times 135)$$

$$\text{Volume médio ponderado} = \frac{18640}{10} = 1864$$

$$\bar{X}_p = \text{MÉDIA PONDERADA} = \frac{18640}{135} = 138 \text{ ml}$$

$$d(25) = 4870 \div 39 = 125 \text{ ml}$$

$$CVC = 100 \left( 1 - \frac{1154}{18640} \right) = 93,80\%$$

$$CUC = 100 \left( 1,0 - \frac{\sum_{i=1}^m S_i |D_i - \bar{X}_p|}{\sum_{i=1}^m D_i \cdot S_i} \right) \quad \text{eq. 1}$$

$D_i$  → LÂMINA COLETADA EM CADA PLUVIOMETRO A UMA DISTÂNCIA  $S_i$  DO PIVÔ, em mm.

$\bar{X}_p$  → LÂMINA MÉDIA PONDERADA COLETADA, CONSIDERANDO TODOS OS PLUVIOMETROS, em mm.

$S_i$  → NÚMERO DE ORDEM DO PLUVIOMETRO,  $i$ . DISTÂNCIA, m

$$\bar{X}_p = \left( \frac{\sum_{i=1}^m D_i S_i}{\sum_{i=1}^m S_i} \right) \quad \text{eq. 2}$$

$$EAP (\%) = 100 \frac{\bar{X}_p}{L}$$

TEMPO GASTO P/ COMPACTAR UMA REVOLUÇÃO, h.

LÂMINA MÉDIA APLICADA. →  $\frac{T \cdot A}{10 \cdot A} \rightarrow m^3 \cdot h^{-1}$

$10 \cdot A \rightarrow h$

EFICIÊNCIA, em POTÊNCIA, DE APLICAÇÃO

$$EPA (\%) = \frac{100 \cdot \bar{X}_p}{L_e}$$

LÂMINA MÉDIA EVAPORADA, mm.

LÂMINA MÉDIA ESTIMADA APLICADA, mm.

$$CUB = 100 \frac{C(25)}{\bar{X}_p} \rightarrow \text{MÉDIA PONDERADA DE 25\% TOTAL DE COLETORES COM AS MENORES LÂMINAS COLETADAS em mm}$$

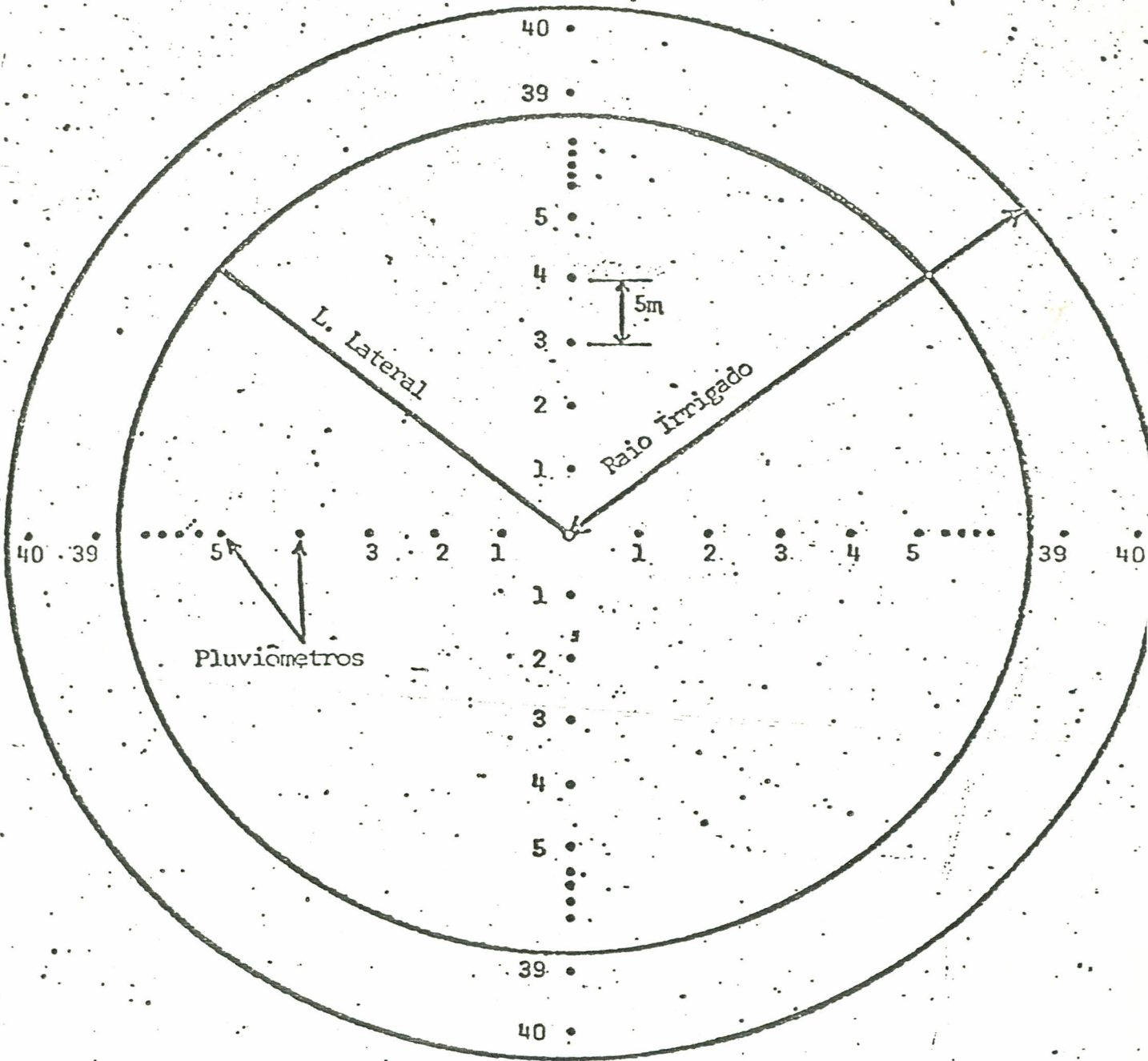


FIGURA 1 - Disposição dos pluviômetros para coleta da lâmina precipitada, para metodologia clássica.

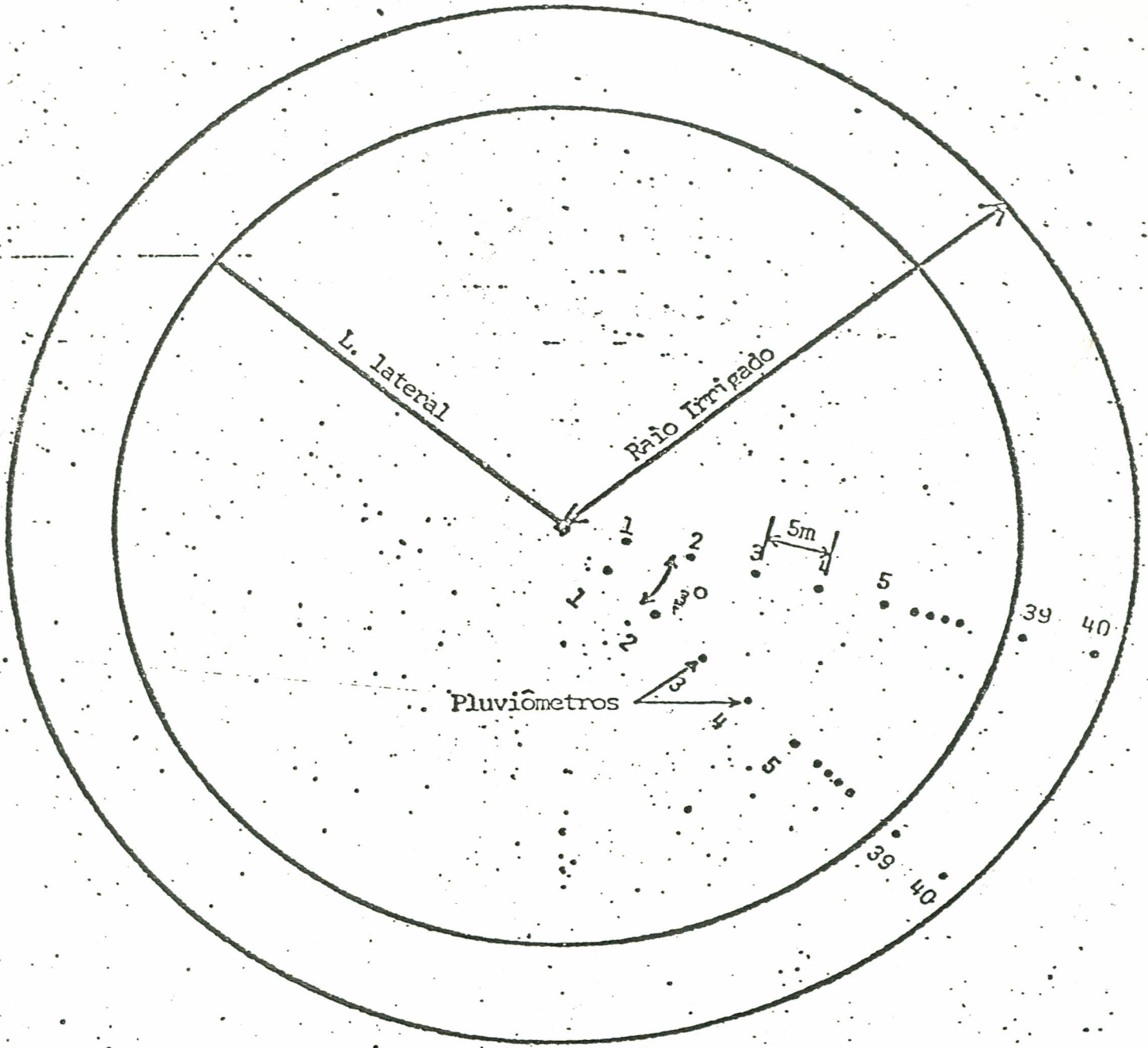
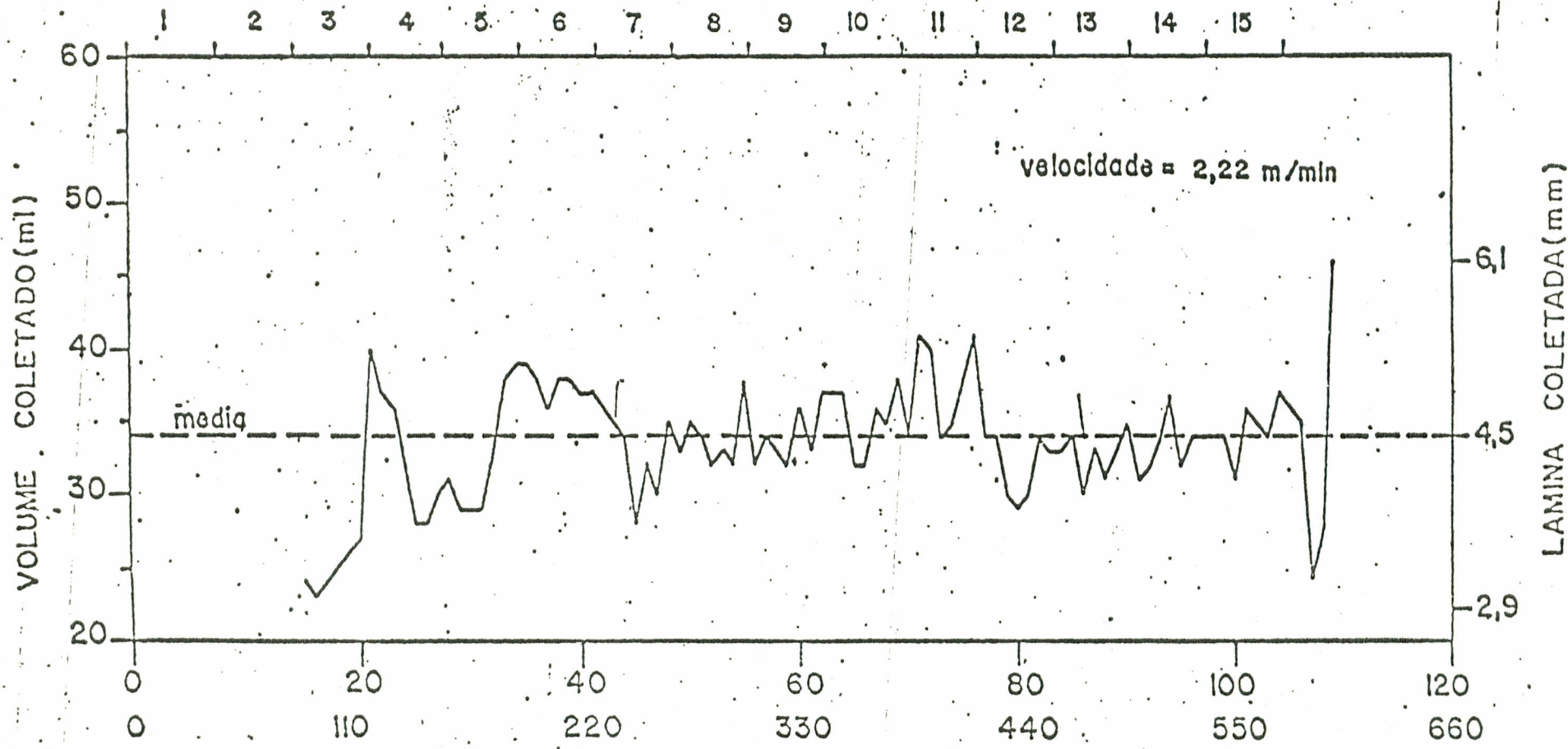


FIGURA 2 - Disposição dos pluviômetros para coleta da lâmina precipitada, para a metodologia sugerida pela ABNT.

VÃO ENTRE TORRES



Nº DE ORDEM DO COLETOR  
DISTANCIA DO PIVOT (m)



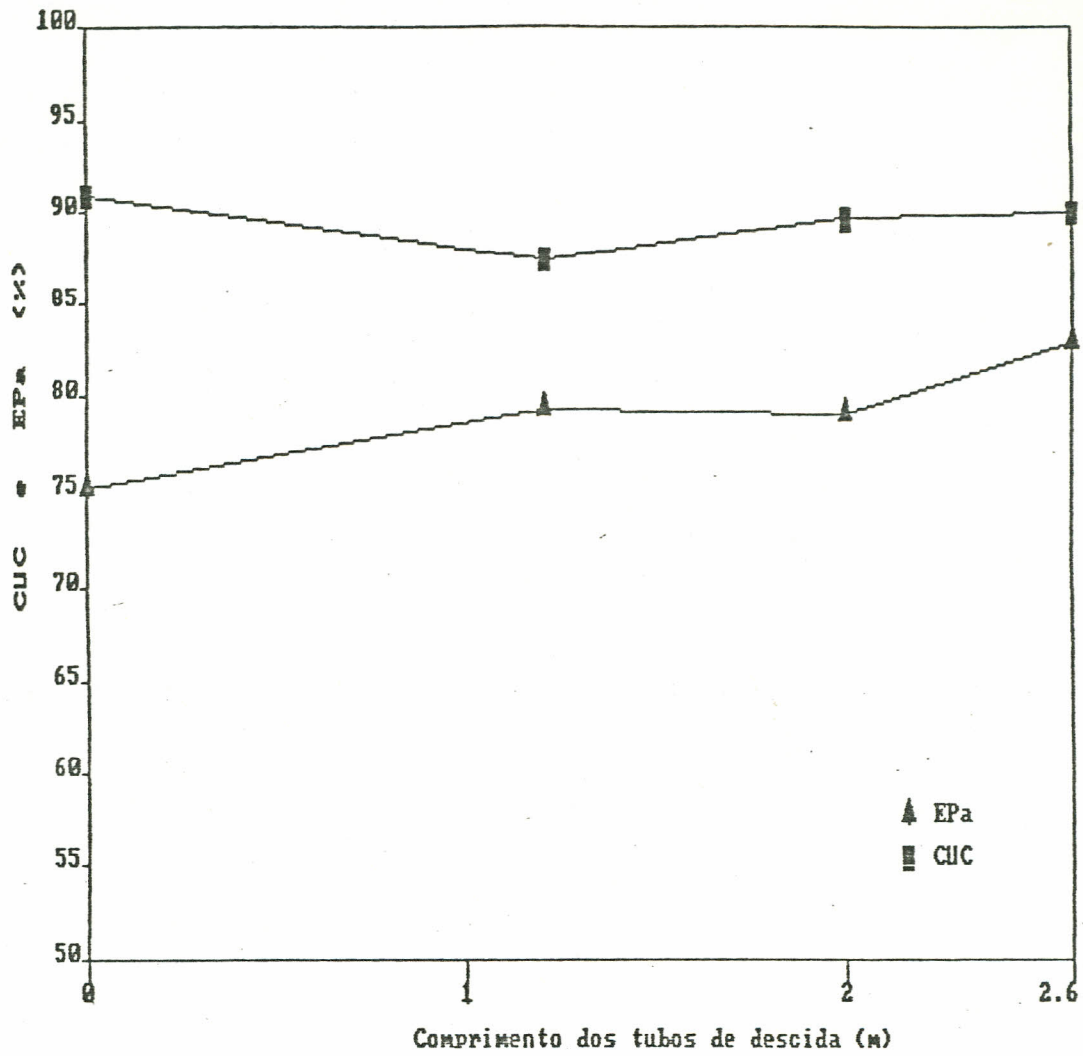


FIGURA 12 - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Eficiência, em Potencial, de aplicação (E<sub>Pa</sub>), de acordo com o Comprimento dos Tubos de Descida.

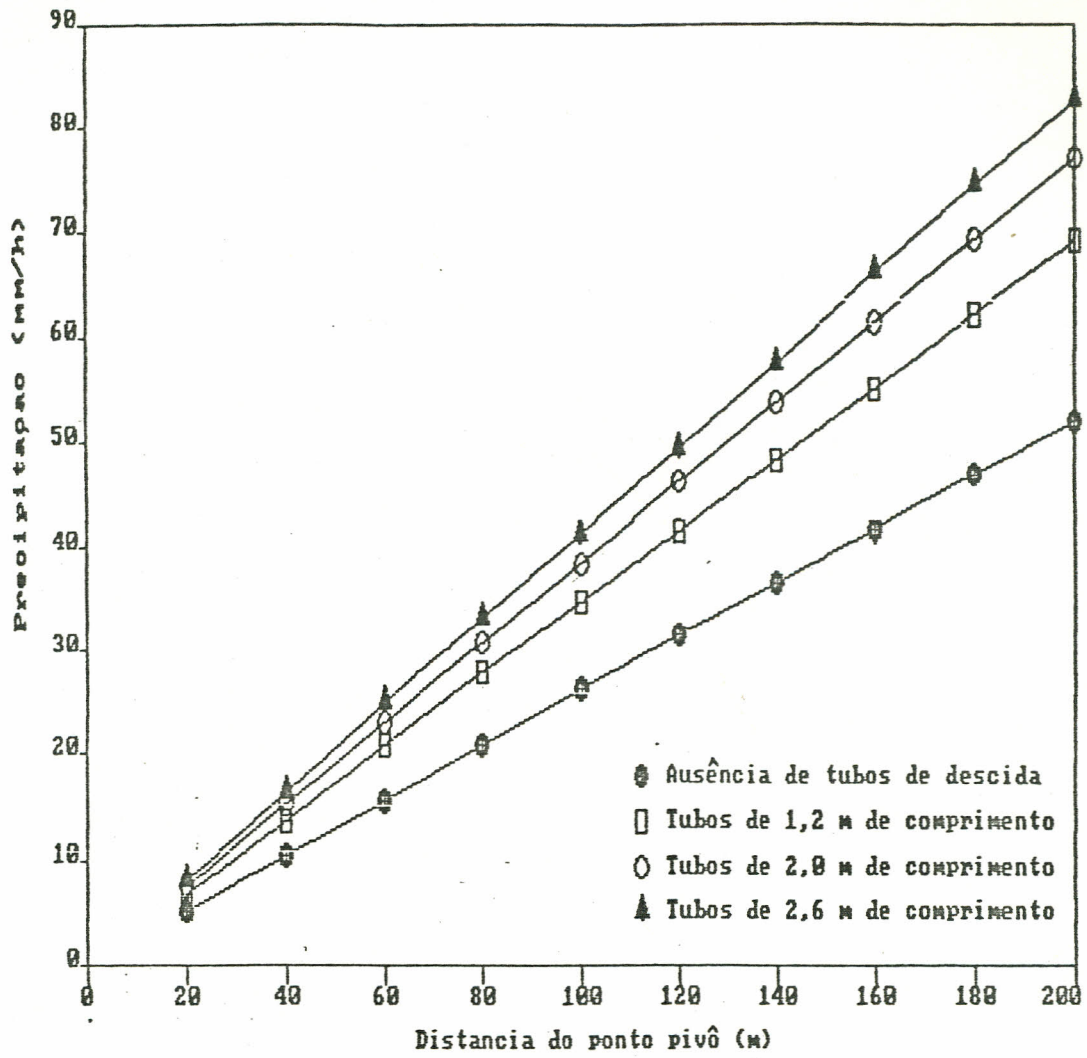


FIGURA 13 - Intensidade de Precipitação Média ao Longo da Linha do Pivô, para os Diferentes Comprimentos dos Tubos de Descida.

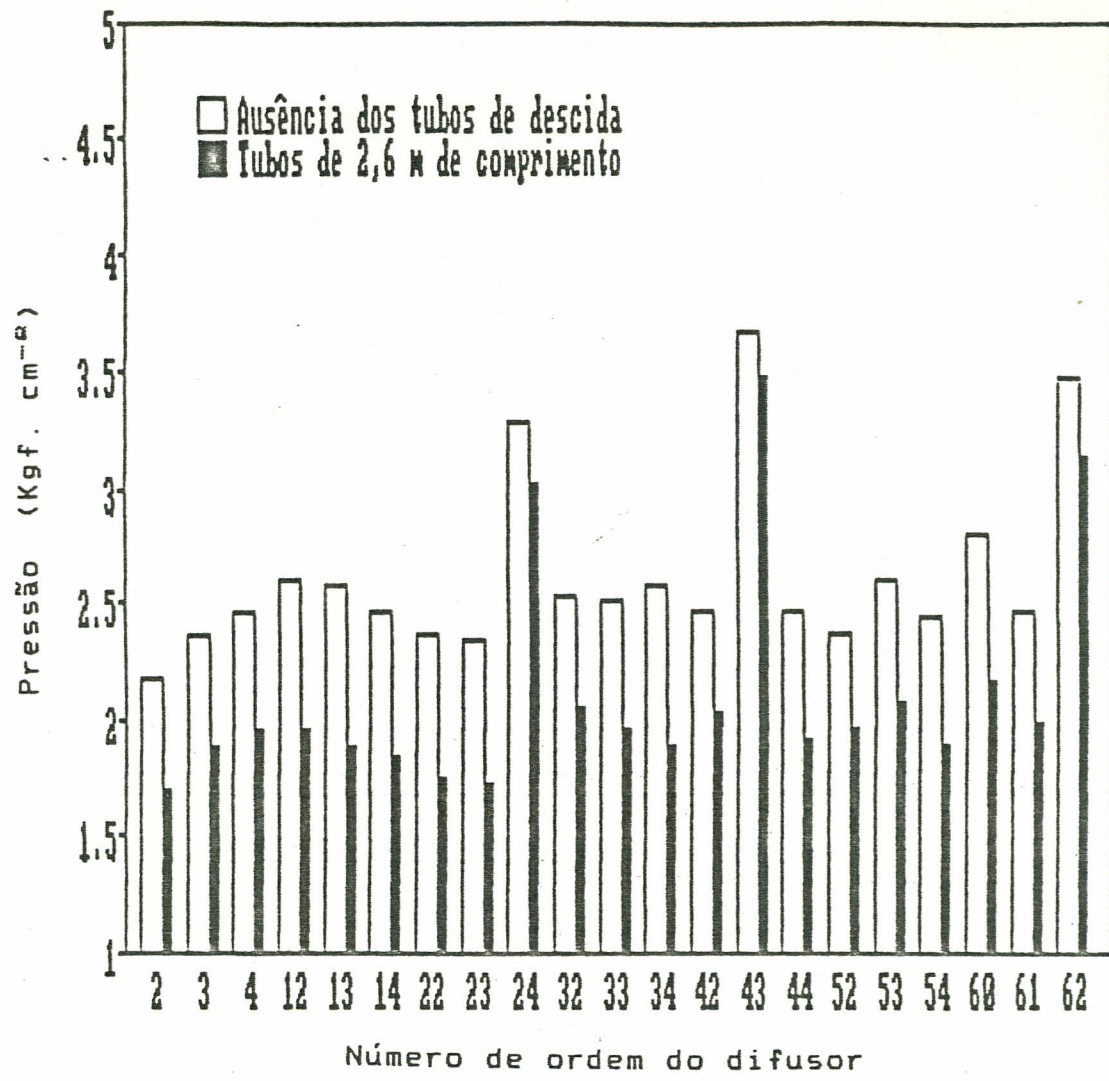


FIGURA 7 - Pressão Média na Saída do Jato dos Difusores, na Ausência de Tubos de Descida e com Tubos de 2,6 m de Comprimento.

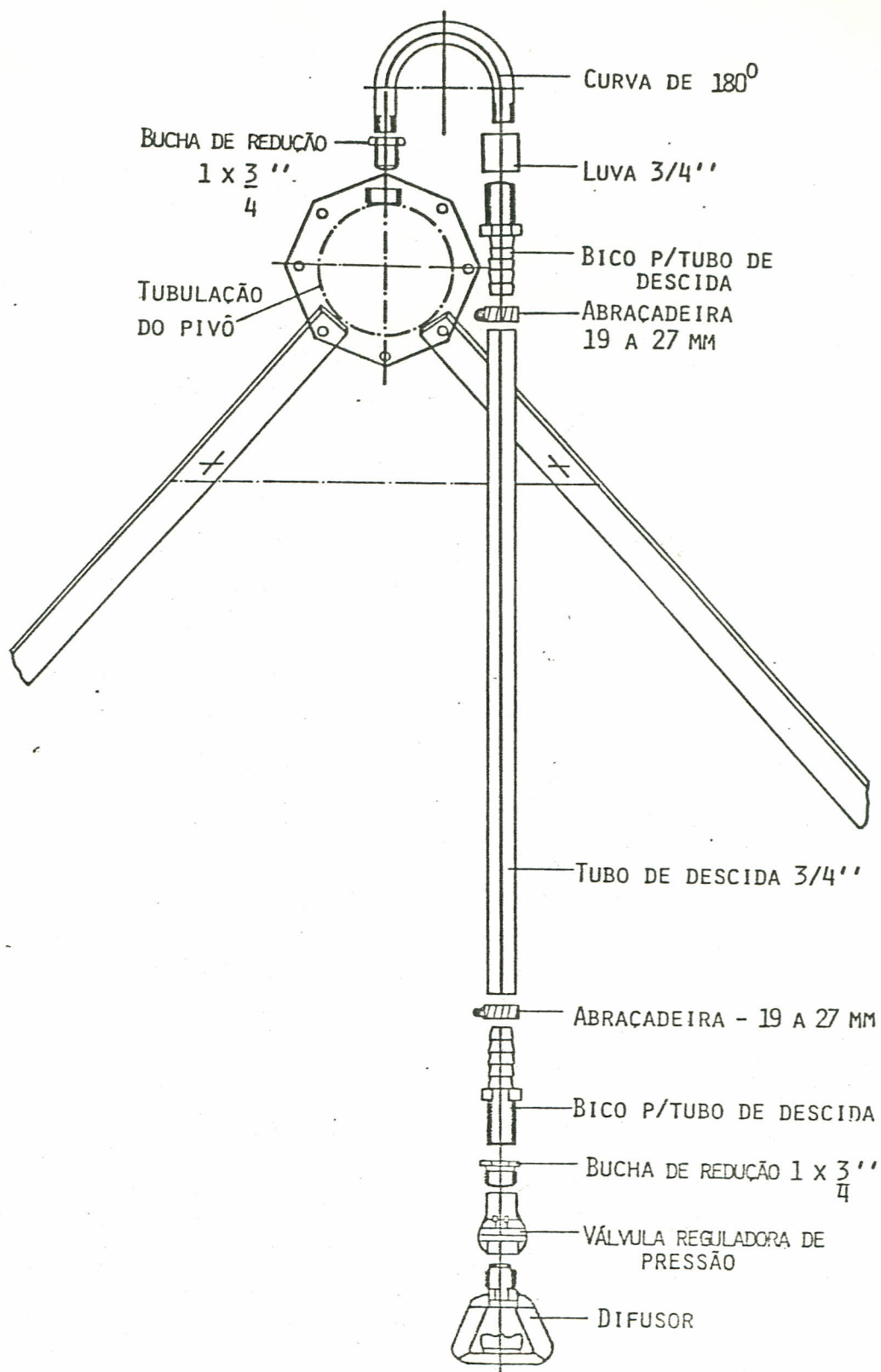


FIGURA 1 - Croquis do Tubo de Descida para Pivô Central.