

# Contribuição ao Estudo da Relação Altura de Precipitação - Área - Duração para Chuvas Intensas

ANTÔNIO CARLOS TATIT HOLTZ

Eng. Chefe da Divisão de Hidrologia  
Curitiba

## 1 — INTRODUÇÃO

Para se avaliar a altura média de água precipitada sobre uma bacia, quer pelo método de Thiessen, quer pelo das isoietas, ou da média aritmética, utilizam-se as observações dos diversos medidores instalados sobre a mesma, ou em suas cercanias.

Quando se trata de pequenas áreas, com tempos de concentração da ordem de minutos, os dados de partida, devem ser obtidos por meio de pluviógrafos. Mas, em geral, a densidade das redes pluviográficas é pequena e para bacias da ordem de alguns quilômetros quadrados tem-se, na melhor das hipóteses, só um aparelho instalado. Por isso, muitas vezes, adotam-se os dados de um pluviógrafo, que são válidos para um ponto, como se representassem o valor médio sobre essas áreas. Outras vezes, considera-se que se devem aplicar ao valor pontual coeficientes de abatimento, geralmente, obtidos na Europa ou na América do Norte, para levar em conta a redução do valor médio sobre a área com relação ao pontual.

Muitos pesquisadores têm se dedicado a estabelecer a relação entre a altura média de água precipitada sobre uma área e o tamanho da mesma. Entre esses pode-se citar: Massari (1910), Robert Fletcher (1950), F. A. Huff (1952), P. Cappus (1957), S. A. Changnon e J. Jacquet (1960) e Marcel Roche (1965).

Uma vez obtida essa relação pode-se calcular os citados coeficientes de abatimento, que devem ser aplicados às quantidades de chuva pontual, para cada superfície considerada.

Com a finalidade de contribuir para esse estudo o Centro de Estudos e Pesquisas de Hidráulica e Hidrologia da Universidade Federal do Paraná — CEPHH — instalou, em 1959, alguns aparelhos registradores na cidade de Curitiba, com a ajuda financeira do Conselho Nacional de Pesquisas — CNPq —. Eles foram observados até 1962, quando foi interrompido o trabalho, que só pôde continuar em 1965 graças à Companhia de Desenvolvimento Econômico do Paraná — CODEPAR — e ao Conselho de Pesquisas da Universidade Federal do Paraná — CPUFP —, que garantiram os recursos necessários.

O autor agradece a essas entidades e aos seus antecessores no CEPHH, Eng.ºs Isaac Milder e Ju-

sué Tabora Ribas, responsáveis pelo período inicial de observações.

## 2 — INSTALAÇÃO, LOCALIZAÇÃO E OPERAÇÃO DOS PLUVIÓGRAFOS

Em 1959 foram instalados 8 pluviógrafos dos quais 5 eram da marca Fuess e 3 da Wilh Lambrecht de fabricação alemã. Além desses, podia-se contar com o aparelho da Estação Meteorológica das Mercês, pertencente ao Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, cujos dados foram sempre gentilmente cedidos e com os pluviômetros colocados ao lado dos registradores, que serviam para controlar as observações.

A planta anexa mostra os locais onde foram colocados os aparelhos com a numeração correspondente à lista abaixo:

- 1 — Centro Politécnico (atualmente Estação Meteorológica do CEPHH).
- 2 — Horto da Prefeitura Municipal, no bairro do Guabirota.
- 3 — Depósito do Departamento de Águas e Esgotos, na rua Engenheiro Rebouças, junto ao Estádio Dorival de Brito (atualmente na usina de emergência da COPEL, na mesma rua).
- 4 — Reservatório Cajuru, no alto da Rua XV de Novembro.
- 5 — Escola de Química, no bairro do Juvevê, alto da rua José de Alencar.
- 6 — Reservatório do Bigorriho, no bairro do Bigorriho.
- 7 — Bairro da Água Verde, numa propriedade privada na rua José Cadilhe (não reinstalado).
- 8 — Estação Meteorológica das Mercês.
- 9 — Cobertura do prédio antigo da Escola de Engenharia na Praça Santos Andrade.

O polígono de contorno desses aparelhos encerra uma área de aproximadamente 2.300 ha, sendo que o aparelho n.º 3 ocupa uma posição quase central.

O n.º 9 não obedecia as mesmas normas de instalação dos demais, razão pela qual suas leituras diárias não foram aproveitadas neste estudo.

Os de número 5 e 8 foram observados por pessoal morador no local, e os demais por um funcionário do CEPHH que percorria diariamente uma distância de cerca de 30 km.

Tomou-se muito cuidado com o sincronismo dos aparelhos, de modo a garantir que todos os registros estivessem sempre referidos a uma mesma origem dos tempos e os defeitos foram sempre corrigidos com urgência para evitar interrupções no serviço.

### 3 — ANÁLISE DOS DADOS

#### 3.1. Chuvas analisadas

De tôdas as precipitações observadas escolheram-se as mais intensas num total de 31, conforme a relação abaixo:

DATA	DURAÇÃO TOTAL	DURAÇÕES PARCIAIS ESTUDADAS
25/04/59	3 h e 40 min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
18/05/59	12 h	"
05/06/59	2 h	"
04/09/59 (n.º 1)	50 min	10, 20, 30, 40, 50 minutos
04/09/59 (n.º 2)	1 h e 40 min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
04/10/59	3 h e 10 min	"
12/10/59	10 h e 40 min	"
24/11/59	3 h e 50 min	"
01/12/59	1 h	10, 20, 30, 40, 50, 60 minutos
16/12/59	3 h	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
06/01/60	4 h e 10 min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 250 minutos
07/01/60	2 h	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
09/01/60	5 h	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
03/03/60	1 h e 30 min	"
13/03/60	1 h e 10 min	10, 20, 30, 40, 50, 60 minutos
18/04/60	3 h e 10 min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
17/08/60	2 h e 10 min	"
31/08/60	1 h e 50 min	"
25/12/60	2 h	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120 minutos
24/02/61	2 h e 30 min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 150 minutos
27/02/61	4 h e 50 min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
12/03/61	2 h e 40 min	"
14/03/61	1 h e 50 min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 110 minutos
14/04/61	3 h e 20 min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
23/03/66	4 h	"
22/05/66	50 min	10, 20, 30, 40, 50 minutos
23/06/66	6 h e 40 min	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
31/08/66 (n.º 1)	1 h e 40 min	100 minutos
31/08/66 (n.º 2)	3 h	10, 20, 30, 40, 50, 60, 90 minutos
01/09/66 (n.º 1)	1 h e 40 min	"
01/09/66 (n.º 2)	7 h	

Para cada uma, avaliaram-se as quantidades precipitadas, simultaneamente, em intervalos de 10 em 10 minutos, a partir do início, em cada pluviógrafo, e elaboraram-se tabelas, como a mostrada para a chuva de 25/12/60 (Tabela n.º 1).

Calcularam-se as médias aritméticas das alturas observadas nos 8 aparelhos, em cada duração parcial incluída nas chuvas acima citadas (10, 20, 30, 40, 50, 60 e 90 minutos), e selecionaram-se os maiores valores encontrados (Tabela n.º 1).

Exemplificando, a Tabela n.º 2 fornece para o dia 25/12/60 as quantidades precipitadas naquelas durações, sobre cada pluviógrafo, e que atendem a condição de máxima média.

### 3.2. Cálculo das médias

Foram desenhados 180 mapas de isoietas (ver exemplo da fig. 2), referentes às precipitações selecionadas no parágrafo anterior, de modo que se pudesse calcular as alturas médias de chuva (ver Ta-

bela n.º 3) pela fórmula:  $hr = \frac{\Sigma hm.A}{\Sigma A}$ , onde:

hm — altura média entre duas isoietas.

A — área compreendida entre duas isoietas.

$\Sigma A$  — área crescente a partir do centro de chuva (ponto em que ela é máxima).

$\Sigma hm.A$  — volume de água caída nesta área.

hr — altura média sobre esta área.

### 3.3. Relação entre altura média e área

Como a superfície considerada no cálculo da média era crescente em torno do centro de chuva, a determinação do local em que se dava esse foco era importante. Essa localização é mais simples e segura quando o mesmo ocorre próximo ao posto n.º 3, o que levou a prosseguir o estudo apenas para os casos abaixo, em que o foco era próximo ao centro da área.

DATA	DURAÇÕES (minutos)							
	10	20	30	40	50	60	90	120
05/06/59	—	20	30	40	—	—	—	—
04/09/59 (n.º 2)	10	—	—	—	—	—	—	—
12/10/59 (n.º 1)	10	—	—	—	—	—	—	—
01/12/59	10	20	—	—	50	—	—	—
06/01/60	—	20	30	40	—	—	—	250
13/03/60	—	—	—	40	—	—	—	—
17/08/60	—	—	30	40	50	60	90	—
25/12/60	—	—	30	40	50	60	90	120
31/08/66	—	—	—	—	—	—	—	100

Comparando-se com as precipitações citadas em 3.1 tem-se, no quadro acima, chuvas fracas, como a de 12/10/59, médias, como a de 13/03/60 e fortes como a de 01/12/59, 06/01/60 e 25/12/60, e portanto uma boa amostra dos dados colhidos.

Várias tentativas foram efetuadas no sentido de determinar a relação entre a altura média (hr) pre-

cipitada numa área envolvida pelas isoietas e a sua superfície ( $\Sigma A$ ) até se constatar a relação linear entre (hr) e a raiz quadrada de ( $\Sigma A$ ). A figura 3 ilustra esta conclusão, para as chuvas de 30 minutos dos dias 5/6/59, 6/1/60 e 25/12/60. Na figura 4 estão resumidos os resultados obtidos para as precipitações mais fortes, entre todas as observadas, que foram:

DATA	DURAÇÕES (minutos)							
	10	20	30	40	50	60	90	120
01/12/59	10	—	—	—	—	—	—	—
06/01/60	—	20	—	—	—	—	—	—
25/12/60	—	—	30	40	50	60	90	120

### 3.4. Coeficiente de abatimento

Jacquet (1960) verificou que a repartição de chuvas sobre uma área de 1 ha, na escala diária, é uniforme, utilizando observações de 32 pluviômetros colocados num quadrado de 100 m de lado na bacia de Alrance, no Maciço Central, na França.

Por essa razão, julgou-se admissível supor que o valor lido num pluviógrafo represente as precipitações em uma área de 1 ha.

Assim, neste trabalho, definiu-se o coeficiente de abatimento como sendo a razão entre a altura média de precipitação numa superfície qualquer e a altura correspondente à área central (incluindo o centro de chuva) de 1 ha. Ele varia linearmente com a raiz quadrada da área, diminuindo com o

crescer da mesma, sendo, evidentemente, igual à unidade para 1 ha. A figura 5 ilustra os valores obtidos para precipitações de 30 minutos de duração. Observe-se que, quanto mais forte a chuva mais uniforme a distribuição sobre cada área considerada.

Calculando-se os coeficientes de abatimento para os máximos eventos registrados (relacionados à página anterior obtém-se a figura 6, na qual se incluem durações de 10 a 120 minutos e áreas até o limite de 2.590 ha.

F. A. Huff e Changnon (1960) estudaram esse problema, em Champaign — Urbana, Illinois (2.590 ha), com uma rede de pluviógrafos cuja densidade era próxima da de Curitiba, e chegaram a resultados muito semelhantes aos aqui obtidos:

DURAÇÃO	URBANA	CURITIBA
30 minutos	0,92	0,91
60 minutos	0,92	0,91
120 minutos	0,94	0,92

### 3.5. Aplicabilidade dos resultados

Observou-se que o coeficiente de abatimento varia com a intensidade e portanto com o período de recorrência da precipitação pluvial.

Não foi executado todavia, até o momento, estudo de frequência de precipitações médias em área

na cidade de Curitiba. Mas, baseados em estudos realizados por Parigot de Souza, para valores pontuais observados em um dos pluviógrafos (n.º 8) durante 31 anos, julga-se conveniente não considerar os resultados mostrados na figura 6 como válidos para precipitações de tempos de retorno superiores a:

DURAÇÃO	10 a 20 MINUTOS	30 a 120 MINUTOS
Período de Recorrência	≤ 2 anos	≤ 3 anos

## 4 — CONCLUSÕES

— As quantidades coletadas nos diversos pluviógrafos, simultaneamente, no transcorrer de um episódio pluvial, são diferentes entre si.

— Há uma relação linear entre as alturas médias precipitadas numa área envolvida pelas isoietas e a raiz quadrada dessa área.

— Essa relação foi verificada para chuvas de diversas intensidades.

— Quanto mais forte a chuva mais uniforme a distribuição sobre a área considerada.

— A figura 6 fornece para cada área, crescente em torno do centro de chuva, o valor numérico

do coeficiente de abatimento a ser aplicado à quantidade precipitada naquele centro.

— Enquanto não se tenha maiores informações sobre a frequência das precipitações médias, recomenda-se que os valores apresentados só sejam utilizados para períodos de recorrência inferiores a 2 anos no caso das durações de 10 a 20 minutos e a 3 anos no caso de duração de 30 a 120 minutos.

— Há necessidade de se prosseguir o estudo para resolver o problema da relação entre o coeficiente de abatimento e a frequência do episódio pluvial considerado e para verificar se se confirmam, com um maior número de observações, os resultados aqui obtidos.

5 — ANEXOS

- 1 — Localização dos pluviógrafos em operação — Fig. 1.
- 2 — Alturas de precipitações em intervalos de 10 minutos — Tabela 1.
- 3 — Máximas alturas de precipitação para cada duração — Tabela 2.
- 4 — Isoietas da precipitação pluvial de 25/12/60 — Duração 2 horas. — Fig. 2.
- 5 — Cálculo das alturas médias. Dia 25/12/60 — Duração 2 horas — Tabela 3.

- 6 — Relação entre alturas médias e áreas para chuvas centradas, de 30 minutos de duração — Fig. 3.
- 7 — Relação entre alturas médias e áreas para as maiores chuvas centradas de várias durações — Fig. 4.
- 8 — Coeficientes de abatimento para chuvas de 30 minutos — Fig. 5.
- 9 — Coeficientes de abatimento para as máximas chuvas observadas de diversas durações — Fig. 6.
- 10 — Bibliografia.

TABELA N.º 1  
 PRECIPITAÇÃO DO DIA 25/12/60  
 DURAÇÃO: 2 horas

ALTURA DE PRECIPITAÇÃO (mm) EM INTERVALOS DE 10 MINUTOS		P O S T O S								MÁXIMA PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA ÁREA EM (mm)							
		1	2	3	4	5	6	7	8	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	90 min	
T	A T MIN	0,6	0,3	1,8	1,1	1,0	0,7	0,1	1,5								
	10	0,5	0,7	1,0	0,8	1,1	1,3	1,2	2,9								
	20	0,6	0,5	1,6	1,0	1,0	17,0	4,8	2,5								
	30	2,0	1,3	4,6	4,2	4,2	9,1	9,3	9,6								
	40	8,6	6,3	17,0	6,9	12,1	1,2	8,1	2,3								
	50	20,2	16,5	11,3	16,4	13,2	4,5	9,9	16,9	13,6							
	60	6,9	14,3	10,0	4,7	11,2	5,5	5,1	7,5		21,8	29,6	35,1				
	70	4,7	10,0	5,7	5,5	5,3	2,9	1,3	2,0					39,8	43,4		
	80	3,2	5,6	3,6	2,3	3,2	1,0	0,6	2,8								
	90	1,3	1,8	0,9	2,0	1,1	0,4	0,5	0,8								
	100	0,6	0,5	0,7	0,8	0,9	0,6	0,6	0,7								
	110	0,8	0,9	0,5	1,0	0,8	0,4	0,3	0,2								
	120																48,5

**TABELA N.º 2**

**PRECIPITAÇÃO DO DIA 25/12/60**

**DURAÇÃO TOTAL: 2 HORAS**

**MÁXIMAS ALTURAS DE PRECIPITAÇÃO (mm) PARA CADA DURAÇÃO**

DURAÇÃO	PLUVIÓGRAFO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
10 min	20,2	16,5	11,3	16,4	13,2	4,5	9,9	16,9
20 min	27,1	30,7	21,3	21,1	24,4	10,0	15,0	24,4
30 min	35,7	37,0	38,3	28,0	36,5	11,2	23,1	26,7
40 min	37,7	38,3	42,9	32,2	40,7	20,3	32,4	36,3
50 min	38,3	48,3	48,6	37,7	46,0	23,2	33,7	38,3
60 min	43,0	48,8	50,2	38,7	47,0	40,2	38,5	40,8
90 min	48,0	56,9	55,7	43,8	52,4	42,9	40,8	47,3
120 min	50,0	58,7	58,7	46,7	55,1	44,6	41,8	49,7

**TABELA N.º 3**

**PRECIPITAÇÃO DO DIA 25/12/60**

**DURAÇÃO: 2 HORAS**

**CÁLCULO DAS ALTURAS MÉDIAS (hr mm)**

hm (mm)	A (ha)	Σ A (ha)	hm A	Σ hm A	hr = Σ hm A / Σ A
58,5	96,4	96,4	5639,4	5639,4	58,5
57,5	200,4	296,8	11523,0	17162,4	57,8
56,5	279,6	576,4	15797,4	32959,8	57,2
55,5	339,2	915,6	18825,6	51785,4	56,6
54,5	408,0	13 23,6	22236,0	74021,4	55,9
53,5	492,4	1816,0	26343,4	100364,8	55,3
52,5	633,2	2449,2	33243,0	133607,8	54,6
51,5	745,2	3194,4	38377,8	171985,6	53,8

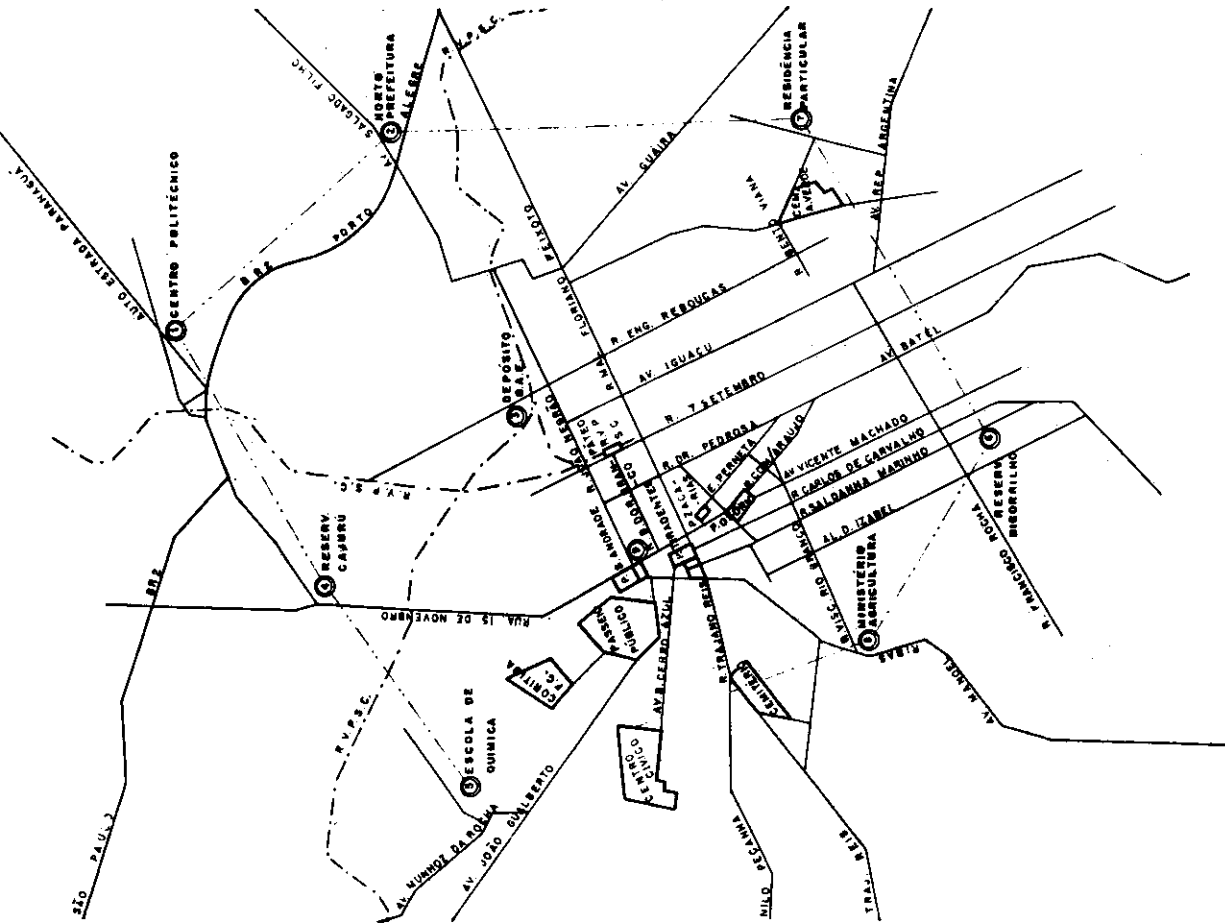


FIG. 1  
Localização dos pluviômetros em operação.

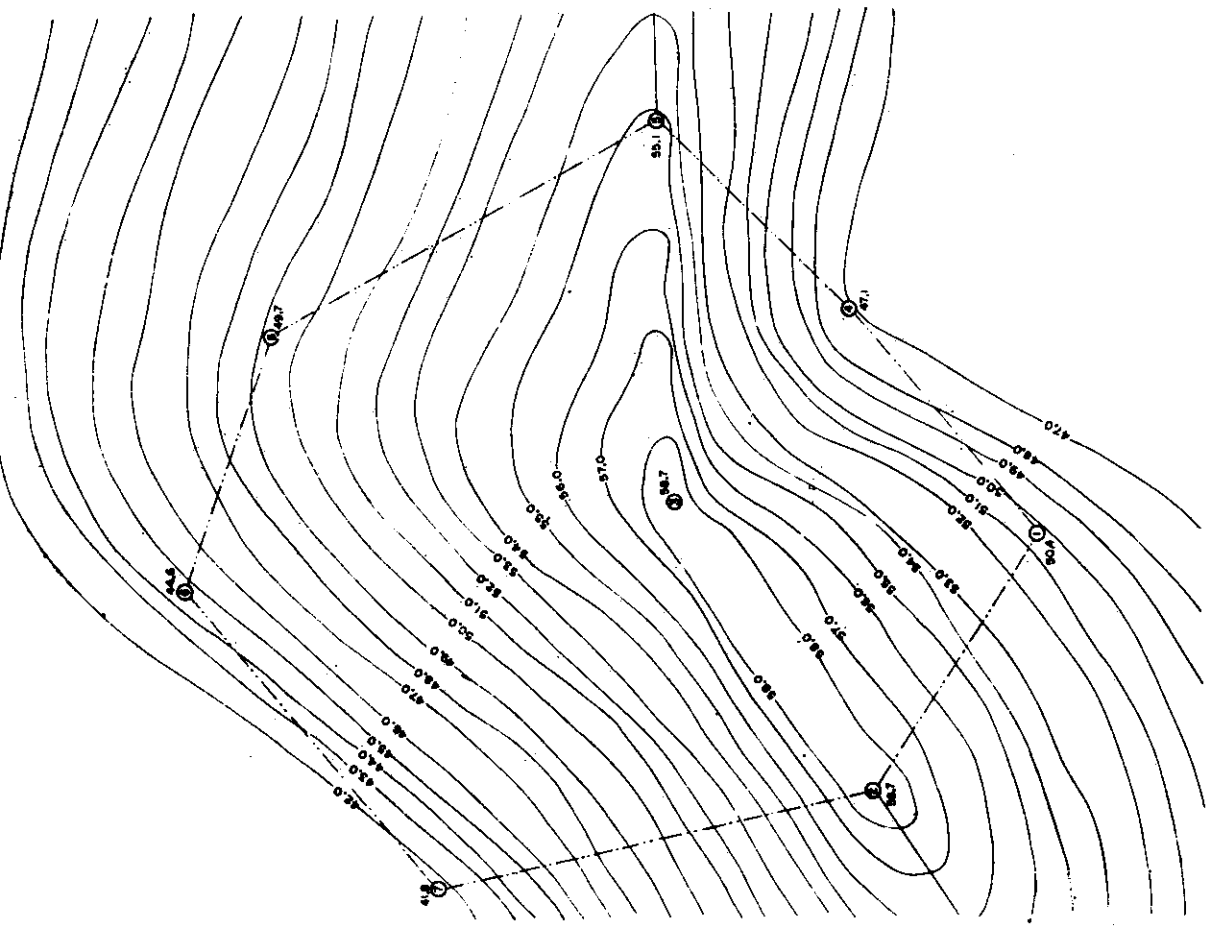


FIG. 2  
Isoletas da precipitação pluvial de 25-12-1960 — Duração 2 horas.

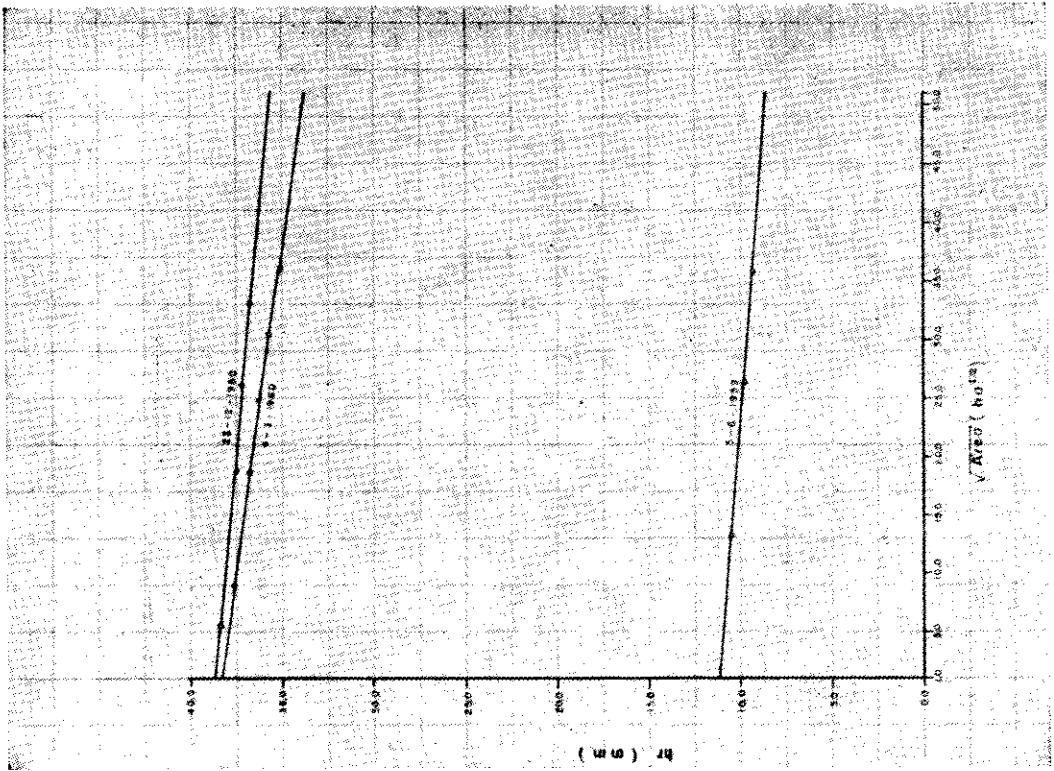


FIG. 3  
Relação entre alturas médias e áreas para chuvas centradas, de 30 minutos de duração.

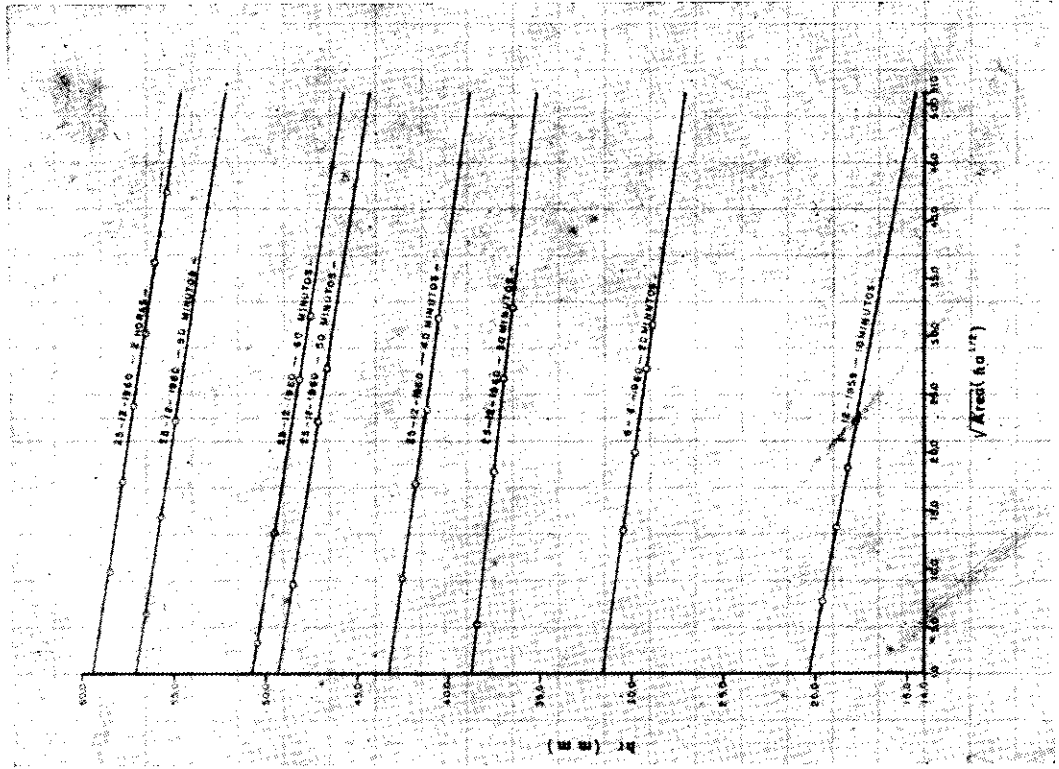


FIG. 4  
Relação entre alturas médias e áreas para as maiores chuvas centradas de várias durações.



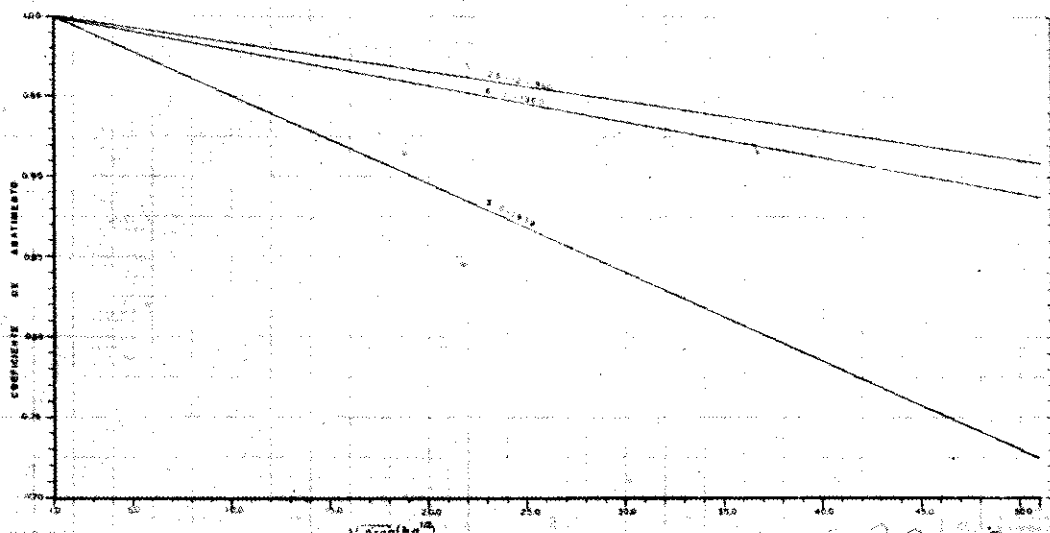


FIG. 5  
Coeficientes de abatimento para chuvas de 30 minutos.

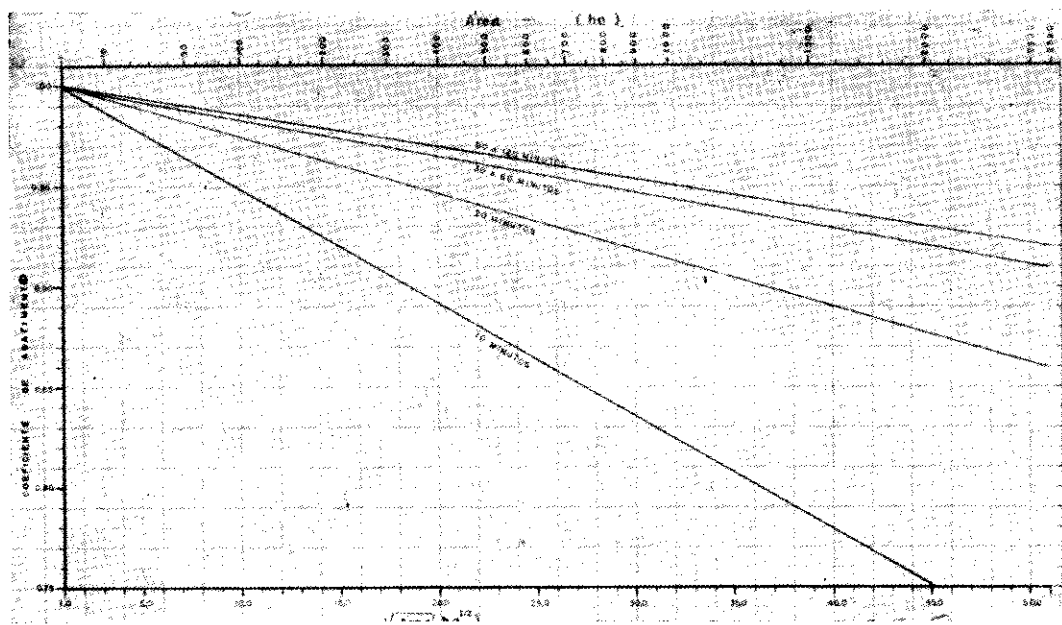


FIG. 6  
Coeficientes de abatimento para as máximas chuvas observadas de diversas durações.

## BIBLIOGRAFIA

- CAPPUS, P. — Répartition des précipitations sur un bassin versant de faible superficie. — Assemblée générale de Toronto. Extrait des Comptes Rendus et Rapports — 1957.
- JACQUET, J. — Répartition spatiale des précipitations à l'échelle fine et précision des mesures pluviométriques — Extrait de la publication n.º 53 de l'A.I.H.S. — Commission d'Erosion Continentale, pp 317-342. Helsinki — 1960.
- CHOW, VEN TE — Handbook of Applied Hydrology — Chap 7 pp 9-32 — Depth Area-Duration Analysis.
- WEATHER BUREAU E BUREAU OF RECLAMATION — Manual for Depth Area-Duration Analysis of Storm Precipitation — Prepared by Cooperative Studies Section, Division of Climatological and Hydrologic Services — 1947.
- FLETCHER, Robert D. — A relation between maximum observed point and areal rainfall values — Transactions. American Geophysical Union — Vol. 31 n.º 3 — June 1950.
- HUFF, F. A., G. E. STOUT — Area-depth studies for thunderstorm rainfall in Illinois — Transactions, American Geophysical Union — Vol. 33, n.º 4 — Agosto 1952
- HUFF, F. A., J. C. NEILL — Area representativeness of point rainfall — Transactions, American Geophysical Union, Vol. 38, n.º 3 — June 1957.
- GRISOLET, H. — Étude des averses orageuses de la région parisienne envisagées au point de vue de leur évacuation par les ouvrages d'assainissement — La Meteorologie — Juillet-Septembre, 1948.
- ROCHE, Marcel, IVES BRUNET E MORET — Étude théorique et méthodologique de l'abattement des pluies — ORSTOM — Paris, 1965.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS — Hydrology Handbook — Prepared by the committee on Hydrology of the Hydraulics Division — Adopted January 17, 1949, pp 20-24.
- HUFF, F. A., S. A. CHANGNON — Distribution of excessive rainfall amounts over an Urban Area — Journal of Geophysical Research, Vol. 65, n.º 11 — november, 1960.
- PUPPINI, Umberto — Le piogge nei canali di bonifica. Influenza del fattore "area della zona".
- MASSARI, Umberto — Determinação da máxima chuva atribuível a uma área dada — Milão, 1910.
- PARIGOT DE SOUZA, P. V. — Possibilidades pluviais de Curitiba, em relação a chuvas de grande intensidade. — Publ. n.º 2 — CEPHH — Curitiba, 1959.

**manilhas  
e  
conexões**

de barro  
vidrado  
para  
esgotos  
duradouros

**sammarone** <sup>s/a</sup>  
Indústria Cerâmica

### Vendas

Rua Riachuelo, 231 - 5.º andar  
Fones: 32-4608, 33-2342 e 35-2369  
C. Postal 5913 - S. Paulo

### Séde

Vila Sammarone - Caixa Postal 190  
Fône.: 3145 - Jundiaí - S. Paulo

Composta e Impressa

ESCOLAS PROFISSIONAIS SALESIANAS

Rua da Moóca, 766 (Moóca)

Fone: 33-5459 — P. A. B. X.

SÃO PAULO - 6