

Contribuição para o Estudo das Vazões de Distribuição em Rêdes de Água Potável

Eng. EDUARDO RIOMEY YASSUDA

SEGUNDA PARTE

4 — DIFERENCIAÇÃO DAS RÊDES, SEGUNDO OS TIPOS DE PEÇAS DE UTILIZAÇÃO

4.1 — O valor de q é uma característica essencialmente peculiar à peça de utilização. Outros fatores, como a pressão disponível, nêle intervêm, mas são limitados pela condição de funcionamento satisfatório da peça.

4.2 — De acôrdo com a Norma Brasileira, em Estágio Experimental, para Instalações Prediais de Água Fria (34, p. 14), as vazões das peças de utilização a serem consideradas no cálculo das instalações são as indicadas em nosso Quadro III-1.

QUADRO III-1

Peça de utilização de	q (l/s)
Bacia sanitária com caixa de descarga	0,15
Bacia sanitária com válvula de descarga	1,90
Banheira	0,30
Bebedouro	0,05
Bidé	0,10
Chuveiro	0,20
Lavatório	0,20
Mictório de descarga contínua, por metro ou por aparelho	0,075
Mictório de descarga descontínua	0,15
Pia de despejo	0,30
Pia de cozinha	0,25
Tanque de lavar	0,30

Observando êsse quadro, e tendo em conta as peças que a experiência corriqueira evidencia causarem demandas substanciais na hora de maior consumo, distinguimos duas classes nítidas:

- peças com vazão de operação não excedendo a 0,30 litros por segundo;
- peças com vazão entre 0,30 e 1,90 litros por segundo; esta classe incluindo, apenas, as bacias sanitárias com válvula de descarga.

4.3 — A fórmula (III.13) nos mostra que, as demais condições sendo mantidas constantes, um aumento de q acarreta diminuição no valor de p . Todavia, conforme evidenciaremos subsequenteemente, dentro dos valores práticos em jôgo, valores maiores de q ocasionam condições mais desfavoráveis para o dimensionamento da rede pública de distribuição. Isto é, causam valores mais elevados, na curva representativa das vazões de distribuição em função do número de peças (ou de prédios, ou de habitantes).

Assim sendo, em uma classificação a favor da segurança, as peças em uso na prática, previstas na Norma, serão divididas em dois grandes grupos:

- a) peças, que chamaremos de tipo I, com vazão até 0,30 litros por segundo inclusive, para as quais atribuiremos o valor uniforme: $q = 0,30$ l/s;
- b) peças de tipo II, com vazão de operação entre 0,30 e 1,90 litros por segundo, para as quais atribuiremos o valor uniforme: $q = 1,90$ l/s.

4.4 — Podemos, pois, para efeito de análise de suas vazões de distribuição, classificar uma rede em uma das três divisões seguintes:

- 4.4.1 — Rede abastecendo somente peças de tipo I;
- 4.4.2 — Rede abastecendo somente peças de tipo II;
- 4.4.3 — Rede abastecendo peças de tipo I e de tipo II.

A rigor, o caso 4.4.2 não tem existência real. Na prática, porém, êle se aplicará à eventualidade em que as vazões na rede, na hora de maior consumo, possam ser levadas à conta desse tipo de peça, dada a predominância de suas demandas.

4.5 — Se admitirmos, por ora, que as peças pertinentes a um mesmo tipo sejam também da mesma categoria, os casos 4.4.1 e 4.4.2 revertirão ao caso de rede com peças de utilização equivalentes, estudado em III-3, onde constituirão duas situações particulares decorrentes de dois particulares valores de q . Poderemos, nestas condições, em função do número de peças (ou de prédios, ou de habitantes) traçar duas famílias de curvas representativas, respectivamente, das vazões de distribuição pertinentes a êsses dois casos.

Na hipótese da rede abastecer peças de tipo I e de tipo II, configurada como caso 4.4.3, a família de curvas correspondentes será intermediária daquelas duas mencionadas. A sua análise merece um estudo especial, o que será feito a seguir.

5 — VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO EM RÊDES COM PEÇAS DE TIPOS DIFERENTES, CADA TIPO SENDO DE CATEGORIA UNIFORME.

5.1 — Hipóteses de cálculo

Neste caso, peças de tipos I e II, atuando simultâneamente, ocasionarão a vazão Q . Designemos, com os índices I e II, as respectivas grandezas características.

Os números n e N de peças suscetíveis de uso abrangerão duas parcelas:

$$\begin{aligned} n &= n_I + n_{II} \\ N &= N_I + N_{II} \end{aligned} \quad (\text{III.15})$$

e, por suposição, a composição da rede será homogênea, isto é, para qualquer secção:

$$n_I/n_{II} = N_I/N_{II} = \text{constante.}$$

Admitamos, outrossim, que as peças funcionem com independência entre si; que as vazões de operação sejam as mesmas para tôdas as peças de mesmo tipo

e iguais, respectivamente, a q_I e q_{II} ; que a probabilidade de estar em operação, num instante casual, seja a mesma para tôdas as peças de mesmo tipo, e constantemente igual a p_I ou p_{II} , conforme o tipo a que pertençam e que a vazão ocorrente, em um instante qualquer, na secção genérica, seja exatamente igual à soma das vazões de operação das x peças que estejam em funcionamento nesse instante, sendo x um número inteiro compreendido entre zero e n , expresso por:

$$x = x_I + x_{II}.$$

5.2 — Equação da distribuição de probabilidades.

A equação (III.2), neste caso, nos dará, separadamente, a distribuição de probabilidades de x_I e de x_{II} nos seus respectivos universos. Serão as seguintes:

$$p_{x_I}^{n_I} = C_{x_I}^{n_I} (p_I)^{x_I} (1 - p_I)^{n_I - x_I} \quad (III.16)$$

$$p_{x_{II}}^{n_{II}} = C_{x_{II}}^{n_{II}} (p_{II})^{x_{II}} (1 - p_{II})^{n_{II} - x_{II}}$$

Consideremos, agora, a secção do trecho genérico da rede abastecendo R prédios, êstes contendo, em conjunto, $n = n_I + n_{II}$ peças suscetíveis de uso. A probabilidade $p_{x_I, x_{II}}^n$ de que haja, exatamente, x_I peças de tipo I e x_{II} peças de tipo II em funcionamento simultâneo, sendo êsses sucessos independentes entre si, é dada pela equação seguinte (41, p. 17):

$$p_{x_I, x_{II}}^n = p_{x_I}^{n_I} \cdot p_{x_{II}}^{n_{II}} \quad (III.17)$$

5.3 — Formulação do número máximo provável de peças em uso simultâneo.

Fazendo $x_{II} = m_{II}$, sendo m_{II} um valor inteiro, satisfazendo a condição $0 \leq m_{II} \leq n_{II}$, a expressão (III.3), em face de (III.17), se escreverá:

$$p_{m_{II}}^{n_{II}} \sum_{x_I}^{n_I} p_{x_I}^{n_I} > 0,01 \cong p_{m_{II}}^{n_{II}} \sum_{m_I}^{n_I} p_{m_I}^{n_I} \quad (III.18)$$

As expressões (III.16) e (III.18) nos permitirão calcular o valor de m_I , desde que conheçamos p_I e p_{II} .

Chamemos:

$$m_I + m_{II} = m'$$

Concluimos que a solução do problema, neste caso, ficará indeterminada se adotarmos, simplesmente, a expressão (III.3) como definidora do número máximo provável de peças em uso simultâneo. De fato, iremos obter diversos valores para m' , conforme o m_{II} de partida que fixarmos. Deduzimos, assim, que, na referida secção do trecho genérico da rede, poderemos ter vários conjuntos ($m_I + m_{II}$) de peças em uso simultâneo, aos quais correspondam 99% de probabilidade. Esta indeterminação decorre de estarmos lidando com a distribuição de freqüência de duas variáveis, diante de uma única condição, representada por (III.18).

Tenhamos em mente, consoante III-3.2, que estamos pesquisando a vazão máxima provável a ser solicitada pelas peças. Acrescentemos, pois, complementando a conceituação de m , que êste será igual ao particular valor de m' capaz de produzir a máxima vazão Q' , esta sendo definida como:

$$Q' = m_I \cdot q_I + m_{II} \cdot q_{II} \quad (III.19)$$

Para simplificação dos cálculos, podemos dar, à expressão (III.18), a forma seguinte:

$$\sum_{m_I}^{n_I} p_{x_I}^{n_I} > \frac{0,01}{p_{m_{II}}^{n_{II}}} \cong \sum_{m_I+1}^{n_I} p_{x_I}^{n_I} \quad (\text{III.20})$$

Dando, a m_{II} , todos os valores inteiros compreendidos no intervalo fechado $(0 - n_{II})$, pesquisariamos todos os possíveis m_I correspondentes. Contudo, certas propriedades, apresentadas a seguir, irão reduzir de muito o número de determinações necessárias.

a) Como $\sum_{m_I}^{n_I} p_{x_I}^{n_I} \leq 1$, para cada n_{II} só interessarão valores de m_{II} com $p_{m_{II}}^{n_{II}} \cong 0,01$.

b) Porque $p_{m_{II}}^{n_{II}} \leq 1$, para cada n_I só interessarão somatórias a partir de $\sum p_{x_I}^{n_I} \cong 0,01$.

c) Como o que desejamos determinar é o maior valor de Q' , para cada n_{II} só introduziremos, na expressão (III.20), valores de m_{II} iguais ou superiores à moda de $p_{x_{II}}^{n_{II}}$, isto é, valores a partir de (41, p. 669):

$$(n_{II} + 1) p_{II} - 1 < m_{II} \leq (n_{II} + 1) p_{II}$$

5.4 — Formulação e métodos de estimativa dos parâmetros p_I e p_{II} .

As estimativas dos parâmetros p_I e p_{II} poderão ser feitas pelo método, descrito anteriormente, baseado na expressão (III.4). Deveremos estimar, mediante amostragem, os valores de t_I , T_I , t_{II} e T_{II} .

Poderemos também recorrer ao método baseado na medição de vazões, desde que conheçamos a fração de M_{Q_x} atribuível a cada tipo de aparelho. Se designarmos por b , à fração de M_{Q_x} atribuível a aparelhos de tipo II, teremos:

$$M_{Q_{x_{II}}} = b \cdot M_{Q_x} = n_{II} \cdot q_{II} \cdot p_{II}$$

Mas,

$$M_{Q_x} = M_{Q_{x_I}} + M_{Q_{x_{II}}}$$

donde:

$$M_{Q_{x_I}} = (1 - b) M_{Q_x} = n_I \cdot q_I \cdot p_I$$

Introduzindo (III.7) e (III.12), teremos também:

$$p_I = (1 - b) k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot \frac{H}{n_I} \cdot \frac{1}{q_I} \quad (\text{III.21})$$

$$p_{II} = b \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot \frac{H}{n_{II}} \cdot \frac{1}{q_{II}}$$

6 — VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO EM REDÊS COM PEÇAS DE CATEGORIAS HETEROGÊNEAS

6.1 — Rêdes com peças de mesmo tipo.

6.1.1 — Até o presente ponto, admitimos que, a probabilidade de estar em operação, em um instante qualquer, fôsse a mesma para tôdas peças pertencentes a um mesmo tipo.

Tal hipótese poderá ser bastante precisa, no caso de rede onde, na hora de maior consumo, tivermos uma acentuada predominância de demandas causadas por peças de tipo II. Isto porque, conforme vimos em III.4.2, peças usuais, pertinentes a essa classificação, pertencem a um mesmo aparelho — bacia sanitária com válvula de descarga. Dentro da condição de homogeneidade da comunidade e de independência entre as peças, no que respeita a consumos de água, é de se admitir que as referidas peças tenham a mesma probabilidade.

Quando nos referimos às rêdes com peças de tipo I, porém, a situação é diferente. Incluímos peças de utilização relativas a diversos aparelhos, como pia de cozinha, tanque de lavar, pia de despejo, bacia sanitária com caixa de descarga e outros. Na hora de maior consumo, é de se pressupor que tais peças participem com diferentes probabilidades de uso. Vamos analisar, a seguir, êste aspecto do problema.

6.1.2 — Assinalemos, preliminarmente, que seria lícito tentarmos aplicar o método de análise adotado em III-5, onde tínhamos peças de tipos diferentes. Escreveríamos, análogamente à (III.16), a distribuição de probabilidades relativa a cada categoria de peça. E a equação da distribuição de probabilidades, referente aos acontecimentos simultâneos dos vários subgrupos, seria dada, como em (III.17), pelo produto (41, p. 17). Entretanto, no caso, êsse procedimento se revelaria bastante trabalhoso, devido ao número de variáveis intervenientes.

Aliás, critério assim direto para resolução do problema, foi adotado por Bolant (47, p. 315), no método que êste propôs para cálculo das vazões a serem consideradas em instalações prediais. Trata-se de um método difícil de ser aceito na prática, devido à extensão e complexidade dos cálculos nêle envolvidos, mesmo em casos correntes de instalações prediais(*).

6.1.3 — Vamos examinar uma orientação diferente, tirando partido da observação feita em III.4.2. Como tôdas as peças pertencem a um mesmo tipo (com iguais valores de q), não nos interessa saber, para efeito de aplicação da fórmula (III.1), qual a parcela, de cada categoria de peça, que irá figurar na composição da quantidade m . Então, consideremos a secção de um trecho genérico da rede. Designemos, ainda, por n , ao número total de peças, abastecidas por essa secção, e verifiquemos, em instantes de observação tomados casualmente, como se distribuem os números x de peças em funcionamento simultâneo, sem distinção das categorias às quais pertençam. Suponhamos que, nesse número n de peças de mesmo tipo, tenhamos n_1 com probabilidade p_1 de sucesso, pertencentes a uma dada categoria; n_2 com probabilidade p_2 e, assim, sucessivamente, sendo as proporções n_1/n , n_2/n etc., constantes para qualquer secção. Admitamos que as peças funcionem com independência entre si e que a probabilidade seja constante para cada categoria de peça, em um instante qualquer, diferindo, porém, de uma categoria para outra, no mesmo instante.

Podemos verificar que a análise do problema, assim formulado, subordina-se à "teoria das flutuações quando as amostras não abedecem às condições de simplicidade". Demonstra-se (48, p. 184), nesta teoria, que a distribuição apresenta os parâmetros seguintes:

$$\text{Média } M_x = \sum M_{x_i} = n \cdot p_0 \quad (\text{III.22})$$

$$\text{Variância } \sigma_x^2 = \sum \sigma_{x_i}^2 = n \cdot p_0 \cdot (1 - p_0) - \sigma_p^2 \cdot n \quad (\text{III.23})$$

(*) Martins, J. A.: Comunicação pessoal, baseada em várias tentativas de aplicação do método a casos concretos.

onde as somatórias se estendem a tôdas as categorias i presentes e $p_{..}$ é a probabilidade média de sucesso, por peça, dada por:

$$p_{..} = \frac{\sum n_i \cdot p_i}{n} \quad (\text{III.24})$$

e σ_p é o desvio padrão das probabilidades p_i em relação à média $p_{..}$, isto é:

$$\sigma_p^2 = \frac{\sum n_i (p_i - p_{..})^2}{n} \quad (\text{III.25})$$

O valor de m , a ser aplicado na fórmula (III.1), provirá, assim, de uma distribuição contendo os parâmetros M_x e σ_x^2 expressos por (III.22) e (III.23).

De acôrdo com as expressões (III.22) a (III.25), M_x e σ_x poderão ser calculados desde que conheçamos a proporção, n_i/n , com que cada categoria de peça participa na constituição da população total de peças; e desde que conheçamos a probabilidade, p_i , inerente às peças de cada categoria. As proporções, n_i/n , poderão ser estimadas mediante amostragem. Em certos casos, elas já são conhecidas ou podem ser assumidas, quando são conhecidas as instalações prediais consumidoras de água (caso, por exemplo, de núcleos residenciais construídos segundo projetos padronizados) ou quando se possam admitir quais sejam os aparelhos previsíveis. Os valores das probabilidades, associadas às categorias de peças, poderão ser estimadas de forma análoga ao que vimos, em III-5.4, para rêsdes com peças de tipos diferentes.

6.14 — Diante das dificuldades práticas perceptíveis em III-6.1.2 e III-6.1.3, particularmente no que concerne à estimativa dos parâmetros descritos, vejamos qual será a conseqüência de se analisar, a rêsde em referência, mediante abstração da diversidade de categorias presentes. Isto é, mediante assimilação a uma rêsde fictícia com peças de utilização equivalentes, rêsde essa que se sujeite, conseqüentemente, ao tratamento formulado em III-3. A rêsde fictícia estará alimentando uma categoria única de peças, categoria essa fictícia, e terá, quando comparada com a rêsde em estudo, as seguintes características:

a) abastecerá, através de uma secção qualquer de canalização, o mesmo número n de peças, igual a $\sum n_i$;

b) tôdas as suas peças terão a mesma probabilidade p de sucesso; o valor de p , obtido conforme III-3.5, mediante abstração das diferentes categorias presentes, será numéricamente igual ao $p_{..}$ definido em (III.24);

c) tôdas as suas peças terão a mesma vazão de operação q ;

d) em uma secção genérica de canalização, alimentadora de n peças, ambas as rêsdes terão o mesmo número médio de sucessos; isto é, o M_x definido em III-3.5.1, terá o mesmo valor que o M_x examinado em III-6.1.3;

e) na mesma secção genérica considerada, o desvio padrão teórico do número de sucessos será maior na rêsde fictícia, conforme se depreende de uma comparação entre as fórmulas (III.8) e (III.23); portanto, na rêsde fictícia, a distribuição teórica do número de sucessos apresentará dispersão maior.

Verificamos assim que, na rêsde em estudo, se fizermos abstração da presença de peças de diferentes categorias e procedermos conforme o tratamento formulado em III-3:

a) estaremos trabalhando com a média verdadeira;

b) estaremos utilizando uma curva de distribuição de probabilidades afetada por dispersão maior que a verdadeira; a magnitude do erro dependerá da importância relativa de $n \cdot \sigma_p^2$, em face de $n \cdot p_{..}(1 - p_{..})$, na expressão (III.23).

6.2 -- Rêdes com peças de tipos diferentes.

6.2.1 — Imaginamos, neste caso, a presença de peças de tipos I e II, contendo o tipo I, várias categorias. No caso geral, o mesmo acontecendo com o tipo II.

6.2.2 — A observação feita em III-6.1.2 pode, também aqui, ser repetida.

6.2.3 — Analisando, separadamente, a distribuição de probabilidades no universo constituído pelas peças de tipo I, poderemos escrever, analogamente ao que vimos em III-6.1.3:

$$\text{Média } M_{x_I} = \sum M_{x_{I_i}} = n_I \cdot p_{I_0}$$

$$\text{Variância } \sigma_{x_I}^2 = \sum \sigma_{x_{I_i}}^2 = n_I \cdot p_{I_0} (1 - p_{I_0}) = n_I \cdot \sigma_{I_p}^2$$

onde as somatorias se estenderão a todas as categorias i pertinentes ao tipo I, e p_{I_0} será a probabilidade média de sucesso, por peça de tipo I, dada por:

$$p_{I_0} = \frac{\sum n_{I_i} \cdot p_{I_i}}{n_I}$$

e σ_{I_p} será o desvio padrão das probabilidades p_{I_i} em relação à média p_{I_0} , isto é:

$$\sigma_{I_p}^2 = \frac{\sum n_{I_i} (p_{I_i} - p_{I_0})^2}{n_I}$$

Procedendo dessa mesma forma, poderemos escrever expressões semelhantes, aplicáveis às peças de tipo II.

Verificamos assim, que o valor $m = m_I - m_{II}$, a ser usado para o cálculo da vazão de distribuição, provirá da consideração simultânea dessas duas distribuições, distribuições essas contendo os parâmetros (M_{x_I}, σ_{x_I}) e $(M_{x_{II}}, \sigma_{x_{II}})$.

6.2.4 — Será interessante idealizarmos a análise, da rede em pauta, mediante configuração de uma rede fictícia com peças de tipos diferentes, cada tipo sendo de categoria uniforme. Essa rede fictícia se sujeitará, pois, ao tratamento formulado em III-5. A introdução da categoria única para cada tipo, categoria essa fictícia, será feita de modo análogo ao examinado em III-6.1.4, valendo-lhe, portanto, as propriedades e limitações então discriminadas.

7 — ANÁLISE DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO POR APROXIMAÇÃO A DISTRIBUIÇÃO DE POISSON

7.1 — Os dados, indicados pela prática, evidenciam que, em regra, é bem diminuta a probabilidade, p_i , de uma peça de categoria genérica, i , estar em operação num instante casual. Assim também, pequeno é o valor da probabilidade média, p_0 , (igual ao p da rede fictícia), definida em III-6.1.3 (e, com a devida adaptação, em III-6.2.3).

A título de ilustração, tomemos, na fórmula (III.14): $k_1 = k_2 = 1,50$; $v = \frac{200}{86\,400}$ l/hab.s; $h = 5$ hab/prédio; $q = 0,30$ l/s. Nestas condições, para obtermos o valor máximo de p , correspondente a uma rede com mais de uma categoria de peças, admitamos que aquele valor de v possa ocorrer tendo-se, em média, apenas duas peças suscetíveis de uso por prédio, isto é, $N = 2$ peças/prédio ($i = 1$ e 2).

Resulta:

$$p = 1,5 \cdot 1,5 \cdot \frac{200}{86\,400} \cdot \frac{5}{2} \cdot \frac{1}{0,30} = 0,0434$$

Notemos que, se tivéssemos somente peças de tipo II, as demais condições sendo mantidas as mesmas, teríamos:

$$p = 0,0069$$

Também como ilustração, apresentemos os valores de p_i , para várias categorias de peças, obtidos por Wise e Croft, em pesquisa realizada no Building Research Station, Inglaterra (49, p. 24-19). Foram obtidos valores de p_i , mediante estimativa de t_i e T_i , conforme o método que expuzemos em III-3.5.1. A amostragem abrangeu 108 famílias vivendo em casas e em apartamentos. Registraram-se as durações e os intervalos das descargas de aparelhos, entre 5,30 h e 10,30 h de cada dia de trabalho, durante uma semana. Obtiveram-se os valores (t_i , T_i) médios das horas de máximo consumo de toda a semana, bem como os valores (t_i , T_i) da hora de máximo do dia de máximo naquele período. Estes últimos valores, com os consequentes p_i , acham-se reproduzidos no Quadro III-2.

QUADRO III-2

Aparelho	t_i (s)	T_i (s)	p_i
Bacia sanitária			
modelo "2 galões"	5	1 140	0,0044
modelo "3 galões"	7	1 140	0,0061
Lavatório	10	1 500	0,0067
Pia de cozinha	25	1 500	0,0167

Aquêles investigadores supuzeram, outrossim, que, no período da tarde, houvesse um outro intervalo de máximo na curva de consumo, quando haveria, como suscetíveis de uso, banheiras com $p_i = 0,042$ e bacias sanitárias com $p_i = 0,0044$ ou $0,0061$.

Devemos ressaltar que, na amostragem supracitada, os parâmetros estimados não são, a rigor, aquêles pertinentes ao nosso estudo. Com efeito, referem-se às descargas, e não às demandas, de água pelos aparelhos. Todavia, fornecem-nos uma indicação valiosa sobre a magnitude dos parâmetros de nosso interesse, dada a similaridade com que aquêles fenômenos se sucedem.

Para uma peça de categoria genérica, i , podemos escrever, conforme (III.4):

$$p_i = \frac{t_i}{T_i}$$

onde t_i e T_i representam intervalos de tempo médios relativos à peça de categoria i . Nestas condições, sendo q_i a vazão de operação, o consumo médio de água em cada uso da peça será igual ao produto: $q_i \cdot t_i$. Logo, se tomarmos $p_i = 0,10$ em peças de uso mais corrente, poderemos figurar, conforme mostra o Quadro III-3, várias utilizações de peças, utilizações essas que, sob o aspecto probabilístico, são iguais entre si. No referido quadro, em caráter genérico, reunimos várias peças sob a designação de torneiras.

Observando o Quadro III-3, podemos notar que, a um valor máximo de p_i em torno de 0,10 correspondem períodos de utilização, T_i , representativos do que poderíamos conceber como máximos usos intensivos de peças de utilização correntes, condizentes com as máximas capacidades físicas de uso dos respectivos aparelhos e compartimentos sanitários, ou de uso dos respectivos volumes de água. Especialmente se não perdermos de vista que T_i representa o valor médio para cada categoria, i , de peça de um dado tipo.

Por outro lado, se os valores de p_i forem geralmente inferiores a 0,10, a sua média, p_o , também o será.

QUADRO III-3

Utilização	q _i (l/s)	t _i (s)	T _i		q _i ·t _i (litros)
			(s)	(min)	
Torneira, i = 1	0,25	2	20	0,3	0,5
Torneira, i = 2	0,25	4	40	0,7	1,0
Torneira, i = 3	0,25	6	60	1,0	1,5
Bacia San.com V.D., i=1	1,90	6	60	1,0	11,4
Bacia San.com V.D., i=2	1,90	9	90	1,5	17,1
Torneira, i = 4	0,25	9	90	1,5	2,3
Torneira, i = 5	0,25	20	200	3,3	5,0
Torneira, i = 6	0,25	40	400	6,7	10,0
Bacia San.com C.D., i=1	0,15	60	600	10,0	9,0
Bacia San.com C.D., i=2	0,15	90	900	15,0	13,5
Torneira, i = 7	0,25	90	900	15,0	22,5
Chuveiro ou Tanque, i=1	0,20	150	1 500	25,0	30,0
Chuveiro ou Tanque, i=2	0,20	240	2 400	40,0	48,0

7.2 — O conhecimento de uma propriedade da distribuição binomial irá nos dar, neste ponto, uma importante indicação, capaz de nos conduzir a conclusões de conseqüências vantajosas para a simplificação dos cálculos. De fato, na presença dos valores, normalmente pequenos, das probabilidades intervenientes, p_i e p , podemos verificar que, nos casos gerais, será corretamente admissível assimilarem-se, as respectivas distribuições binomiais, a distribuições de Poisson (41, p. 690).

Nestas condições, em um conjunto genérico de peças de categoria i , cada peça tendo a probabilidade p_i de estar em funcionamento num instante qualquer, a probabilidade, $p_{x_i}^{n_i}$, de um número x_i de sucessos em n_i peças será expressa por:

$$p_{x_i}^{n_i} = \frac{e^{-M_{x_i}} (M_{x_i})^{x_i}}{x_i!} \quad (\text{III.26})$$

Da mesma forma, no caso da rede com peças equivalentes, onde as peças têm, uniformemente, a probabilidade p , a distribuição de probabilidades, equacionada em (III.2), será assimilada à seguinte:

$$p_x^n = \frac{e^{-M_x} M_x^x}{x!} \quad (\text{III.27})$$

7.3 — Destaquemos, a seguir, três propriedades da distribuição de Poisson:

1.º) a distribuição de Poisson, para a qual converge uma distribuição binomial, tem a mesma média que essa binomial (41, p. 714);

2.º) fixada a média de uma distribuição de Poisson, esta fica completamente definida; trata-se, pois, de uma distribuição caracterizada por um único parâmetro (41, p. 714);

3.º) se as variáveis x_i , com $i = 1, 2, 3$ etc., forem independentes entre si e distribuídas segundo a Poisson, com parâmetros respectivamente iguais a M_{x_i} , então a soma $\sum x_i$ obedecerá também à distribuição de Poisson, com parâmetro igual a $\sum M_{x_i}$ (41, p. 724).

7.4 — Confrontando essas propriedades com nossas conclusões exaradas em III-6.1.4, chegamos à valiosa dedução seguinte:

em rede com peças de tipo uniforme, dentro da aproximação à distribuição de Poisson, será lícito abstrair-se da presença de peças de diferentes categorias, procedendo-se a análise através de uma rede fictícia com peças equivalentes.

Nessa rede fictícia, definida em III-6.1.4, aplicar-se-á o tratamento formulado em III-3, mediante as considerações abaixo:

a) a equação (III.2) passara a ser substituída pela equação (III.27):

b) a expressão (III.3), pertinente a definição de m , será apresentada na seguinte forma:

$$\sum_{x=0}^{\infty} e^{-M_x} \cdot \frac{M_x^x}{x!} = 0,01 \cdot \sum_{x=0}^{\infty} \frac{e^{-M_x} \cdot M_x^x}{x!} \quad (\text{III.28})$$

c) nas formulas (III.8), σ_x^2 (e, assim, $\sigma_{Q_x}^2$) passara a ser calculada pelas mesmas expressões de M_x (e de M_{Q_x}), pois, na Poisson, a variância é igual à média (41, p. 690):

d) os raciocínios implícitos em III-3.5.4 continuarão sendo válidos, uma vez que, dentro do arrazoado então estabelecido, a distribuição de Poisson também converge para a normal (41, p. 717).

7.5 — O confronto das propriedades discriminadas em III-7.3 com as conclusões referidas em III-6.2.4 e III-7.4, nos permite estender, obviamente, à conclusão seguinte:

em rede com peças de tipos diferentes, dentro da aproximação à distribuição de Poisson, será lícito, em cada tipo, abstrair-se da presença de peças de diferentes categorias, procedendo-se a análise através de uma rede fictícia com peças de tipos diferentes, cada tipo sendo de categoria uniforme.

Nessa rede fictícia, aplicar-se-á o tratamento formulado em III-5, mediante considerações análogas aquelas expostas em III-7.4.

7.6 — Uma série de outros problemas de engenharia, que denominaríamos "problemas de congestionamento", tem sido analisada através da distribuição de Poisson. É o caso da determinação do número máximo provável de ligações telefônicas simultâneas, na hora de maior demanda do dia de maior demanda, tendo-se em vista a fixação do número adequado de cabos telefônicos (40, p. 321). É o caso, também, da determinação do número máximo provável de veículos, no dia e hora de tráfego mais intenso, tendo-se em vista a análise da capacidade a ser dada a vias públicas (50, p. 133).

7.7 — Para a aplicação da distribuição de Poisson, será conveniente dispormos de tabelas que nos dispensem de efetuar os cálculos fastidiosos implicados na sua equação.

Neste particular, serão úteis as tabelas publicadas por E. C. Molina, engenheiro da Bell Telephone Laboratories. Trata-se de um trabalho intitulado Poisson's Exponential Binomial Limit, o qual, segundo Molina (51), tem sido usado na Bell Telephone System, há cerca de 60 anos, para a solução de problemas de ligação telefônica. Fornece os termos individuais e os valores acumulados da distribuição de Poisson, com aproximação de seis decimais, para valores da média compreendidos entre zero e 100.

Nas aplicações a valores de $n \cdot p$ superiores a 100, geralmente será inteiramente aceitável (44, p. 45) o uso da tabela referente à distribuição normal.

7.8 — A adequação da Poisson à binomial será tanto melhor quanto menor fôr o valor de p e/ou maior fôr o valor de n . Considerando a conceituação de trecho, vista em III-1, e, ainda, a ordem de grandeza máxima de p , examinada em III-7.1, estamos proporcionando, no Quadro III-4, uma comparação entre os valores fornecidos pelas duas distribuições, em quatro situações que imaginamos estarem no entorno do caso geral de maior discrepância.

8 — CURVAS (n, m) EM RÊDES COM PEÇAS DE TIPO UNIFORME

8.1 — Para as aplicações práticas, é desejável a elaboração de tabelas ou gráficos que nos forneçam o número máximo provável — m — de peças em funcionamento simultâneo, em função do número total — n — de peças suscetíveis de uso.

8.2 — Dentro da distribuição de Poisson, procedamos do modo descrito à seguir.

a) Adotemos uma série de valores para m .

Quadro III-4

x	Binomial (*)				Poisson (L)		
	n	p	P_x^n	$\sum_x P_x^n$	a.p	P_x^n	$\sum_x P_x^n$
0	20	0,08	0,189	1,000	1,60	0,202	1,000
1 (\$)			0,328	0,811		0,323	0,798
2			0,271	0,483		0,258	0,475
4			0,052	0,071		0,055	0,079
5(B,P)			0,015	0,018		0,018	0,024
6			0,003	0,004		0,005	0,006
0	50	0,08	0,015	1,000	4,00	0,018	1,000
2			0,143	0,917		0,147	0,908
4 (\$)			0,204	0,575		0,195	0,567
6			0,106	0,208		0,104	0,215
8			0,027	0,044		0,030	0,051
9(B,P)			0,011	0,017		0,013	0,021
10			0,004	0,006	0,005	0,008	
0	20	0,12	0,078	1,000	2,40	0,091	1,000
2 (\$)			0,274	0,711		0,261	0,692
4			0,130	0,213		0,125	0,221
6 (B)			0,019	0,026		0,024	0,036
7 (P)			0,005	0,007		0,008	0,012
8			0,001	0,001		0,002	0,003
0	50	0,12	0,002	1,000	6,00	0,002	1,000
2			0,038	0,987		0,045	0,983
4			0,133	0,865		0,134	0,849
6 (\$)			0,171	0,565		0,161	0,554
8			0,108	0,247		0,103	0,256
10			0,038	0,071		0,041	0,084
12(B,P)			0,008	0,014		0,011	0,020
13			0,003	0,005		0,005	0,009
14			0,001	0,002		0,002	0,004

(*) Para $n = 20$, foi usada a tabela do National Bureau of Standards (52); para $n = 50$, a tabela de Romig (53).

(L) Valores extraídos da tabela de Molina (51).

(\$) Moda

(B) e (P) — Valor de $x = m$, dado pela Binomial e pela Poisson, respectivamente. Note-se que só há diferença no 3º caso.

b) Para cada particular valor de m , procuremos o valor $a = M_x$ que satisfaça a condição expressa em (III.28). A determinação de a é imediata, usando-se a tabela de Molina.

Observação: nos casos em que encontrarmos mais de um valor, a , satisfazendo àquela condição, adotemos, consoante a definição de Q , o menor valor.

c) Tendo sido, assim, determinada a média da distribuição de onde proveio cada m , obteremos os correspondentes n , pois, sabendo que a média é igual a $n \cdot p$, escreveremos:

$$n = \frac{a}{p} \quad (\text{III.29})$$

8.3 — No intervalo de aplicabilidade da distribuição normal, obteremos os valores (n , m):

- fixando uma série de valores para n ;
- determinando os m correspondentes, mediante a expressão (III.9).

8.4 — Tanto na Poisson como na normal, resultará, como era de se esperar, uma família de curvas (n , m), dependentes do parâmetro p .

8.5 — E' interessante que observemos a expressão (III.29), em face de (III.13) ou (III.14), com o que, dentro da distribuição de Poisson, concluiremos ser o número n , relativo a um dado m :

- inversamente proporcional aos parâmetros k_1 , k_2 , v e H/n (ou h/N);
- diretamente proporcional ao parâmetro q .

Isto nos sugere a conveniência de introduzir os conceitos de número equiparável de peças e fator de equiparação entre peças.

Definamos, um número n de peças, de uma rede que tenha determinadas características, como sendo equiparável a um número n' de peças, de outra rede com características diferentes, quando a eles corresponder, nas respectivas distribuições, o mesmo número máximo provável, m , de peças em funcionamento simultâneo. A relação entre n e n' , que representaremos por f , denominemos fator de equiparação entre peças:

$$f = \frac{n}{n'} \quad (\text{III.30})$$

De acôrdo com (III.29), podemos escrever:

$$f = \frac{p'}{p} \quad (\text{III.31})$$

E, conforme (III.31), diante de (III.13) e (III.14), temos, respectivamente:

$$f = \frac{k'_1 \cdot k'_2 \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \cdot \frac{H'}{n'} \cdot \frac{n}{H} \cdot \frac{q}{q'} \quad (\text{III.32})$$

$$f = \frac{k'_1 \cdot k'_2 \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \cdot \frac{h'}{N'} \cdot \frac{N}{h} \cdot \frac{q}{q'} \quad (\text{III.33})$$

Conseqüentemente, se elaborarmos uma única tabela ou curva da função (n , m), referente a particulares valores dos parâmetros intervenientes, essa mesma tabela ou curva, dentro das condições preconizadas, fornecer-nos-á os valores (n' , m') relativos a redes com outras características. Com efeito, o valor m' , relativo a um genérico n' , será igual ao valor m , dado pela tabela ou curva em correspondência ao n assim obtido:

$$n = f \cdot n' \quad (\text{III.34})$$

8.6 Tendo em vista facilitar as aplicações práticas, apresentemos, no Quadro III-5 e na Fig. III-1:

a) a relação $(m, M_x = n \cdot p)$, para valores de M_x inferiores a 100, de acôrdo com a tabela de Molina;

b) a relação (n, m) , para o caso particular de uma rede com as características abaixo:

$$k_1 = k_2 = 1,50$$

$$v = \frac{200}{86\,400} \text{ litro/habitante, por segundo}$$

$$H/n = h/N = 1 \text{ habitante/peça}$$

$$q = 0,30 \text{ litro/segundo}$$

resultando

$$p = 1,50 \cdot 1,50 \cdot \frac{200}{86\,400} \cdot 1 \cdot \frac{1}{0,30} = 0,017\,36$$

Portanto, para rês com outras características, o uso dessa tabela (n, m) , ou da curva correspondente, poderá ser feito mediante os seguintes fatores de equiparação:

a) pela fórmula (III.31):

$$f = \frac{p'}{0,017\,36} = 57,60 \cdot p'$$

b) pela fórmula (III.32):

$$f = \frac{k'_1}{1,50} \cdot \frac{k'_2}{1,50} \cdot \frac{86\,400 \cdot v'}{200} \cdot \frac{H'}{n'} \cdot \frac{0,30}{q'}$$

onde os parâmetros da nova rede deverão ser expressos nas mesmas unidades que na rede inicial;

c) pela fórmula (III.33), teríamos expressão análoga à anterior, com substituição de H'/n' por h'/N' .

Em particular, se as duas rês diferirem apenas no parâmetro k_1 :

$$f = \frac{k'_1}{1,50}$$

Se diferirem apenas no valor de q :

$$f = \frac{0,30}{q'}$$

e assim por diante.

Não obstante ser evidente, julgamos oportuno ressaltar que, na Fig. III-1 e nas demais figuras congêneres destinadas à aplicação prática, fizemos a representação gráfica através da curva definida pelos pontos mais desfavoráveis, em lugar de fazê-lo pela poligonal teórica que definiria uma linha quebrada ascendente constituída de degraus e patamares.

9 — CURVAS (H, Q) e (R, Q) EM RÊDES COM PEÇAS DE TIPO UNIFORME

9.1 — Na prática, o projeto de rês públicas de distribuição de água poderá ser mais cômodamente desenvolvido se relacionarmos a vazão máxima provável, Q , ao número médio de habitantes, H , ou de prédios, R , que lhe corresponda. Isto porque, no planejamento de uma rede, a estimativa de necessidades, em geral, pode ser mais claramente definida através do número de habitantes ou de prédios previsíveis em cada extensão de rua ou em cada área a ser abastecida.

QUADRO III-5

Número m de peças	Média $M_x = n \cdot p$	Número n de peças
2	0,15	9
3	0,5	29
4	0,9	52
5	1,3	75
6	1,8	104
7	2,4	138
8	3,0	173
9	3,6	207
10	4,2	242
12	5,5	317
14	6,8	392
16	8,2	472
18	9,7	559
20	11,1	639
25	14,9	858
30	19	1 094
40	27	1 555
50	36	2 074
100	79	4 550(*)
157	—	7 500
204	—	10 000
297	—	15 000
482	—	25 000
755	—	40 000
1 117	—	60 000
1 475	—	80 000
1 832	—	100 000
3 608	—	200 000
5 375	—	300 000
8 895	—	500 000
17 660	—	1 000 000

(*) Até este valor, adotamos o processo descrito em III-8.2. A partir do mesmo, usamos aquele descrito em III-8.3, através da expressão:

$$m = 0,01736 \cdot n + 0,304 \sqrt{n}$$

9.2 — Para tal fim, tendo calculado, conforme III-8, os valores (n, m) e, assim, os valores (n, Q = m . q), deveremos determinar os valores H ou R correspondentes a essa série de valores n já associados a m e a Q.

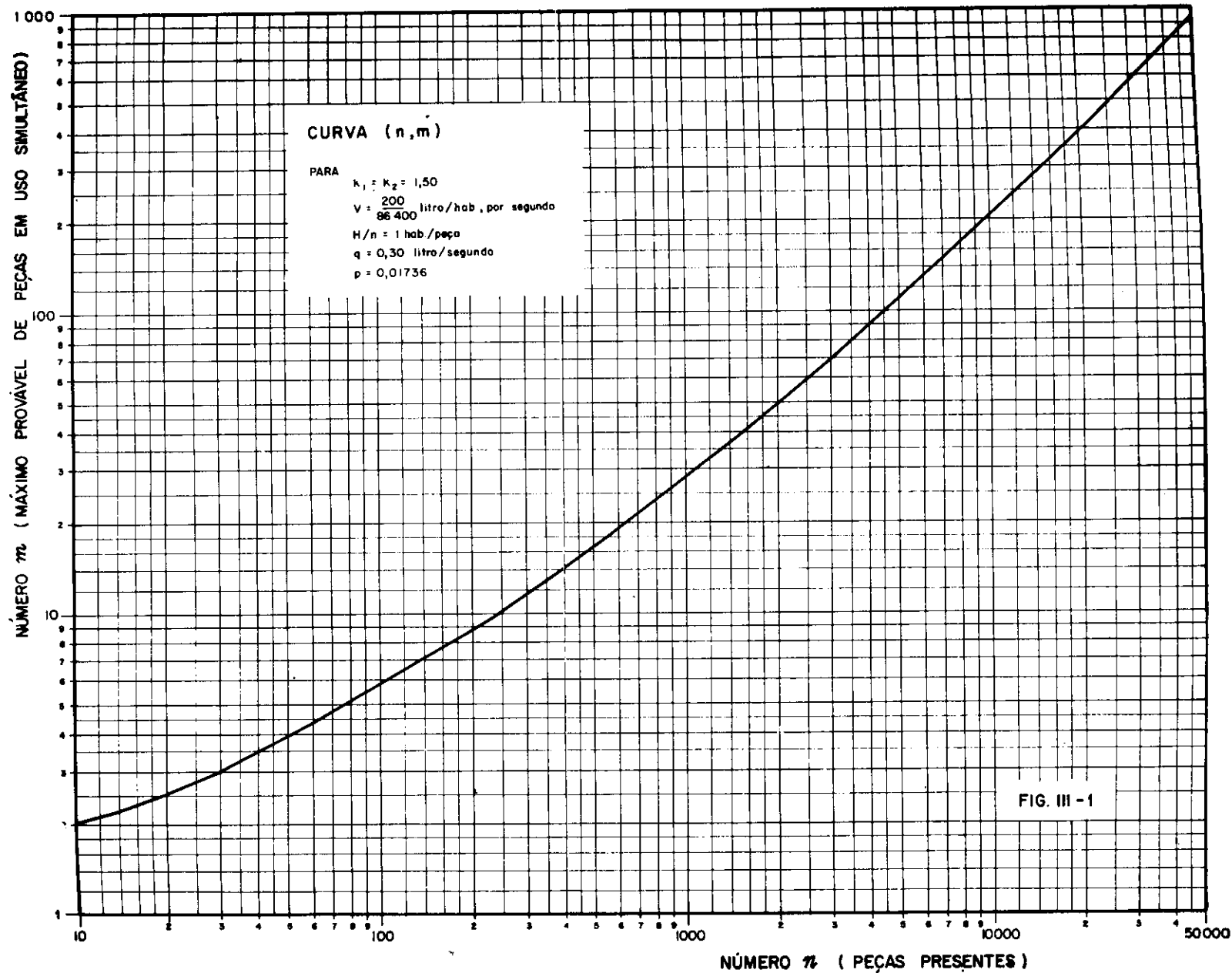
Designemos, como em III-3.5.5, por H/n, ao número médio de habitantes por peça e, por N, ao número médio de peças por prédio. Os valores de H e de R, a partir de n, serão dados por:

$$H = n \left(\frac{H}{n} \right) \quad (\text{III.35})$$

$$R = n \left(\frac{1}{N} \right) \quad (\text{III.36})$$

9.3 — Os valores de H poderão também ser deduzidos da expressão (III.6), introduzindo-se, nesta, o valor de p dado por (III.13). Resultará:

$$H = M_x \cdot \frac{q}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \quad (\text{III.37})$$



A fórmula acima, em face do método que descrevemos em III-8.2, nos mostra que, dentro da aproximação à distribuição de Poisson:

a) as curvas (H, Q) poderão ser obtidas independentemente da estimativa do parâmetro H/n;

b) as curvas (H, Q) poderão ser obtidas independentemente da estimativa do parâmetro p;

c) fixada uma série de valores de m (e, assim, de Q), uma tabela de valores acumulados da distribuição de Poisson nos dará os correspondentes M_x ; resultarão os valores de H, usando-se a fórmula (III.37), desde que tenhamos, previamente, estimado os três, e somente os três, parâmetros seguintes: k_1 , k_2 e v.

9.4 — Na aproximação da binomial à distribuição normal, teremos, conforme a expressão (III.10), após introduzirmos (III.13):

$$Q - 0,5 \cdot q \leq k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H + c \sqrt{k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H \cdot q (1 - p)} < Q + 0,5 \cdot q \quad (\text{III.38})$$

de modo que, para o traçado das curvas (H, Q), seria necessário conhecer p ou H/n. Porém, dentro da aplicabilidade da distribuição de Poisson, a equação (III.10) se escreverá (41, p. 717):

$$Q - 0,5 \cdot q \leq (n \cdot p + c \sqrt{n \cdot p}) q < Q + 0,5 \cdot q \quad (\text{III.39})$$

ou, introduzindo (III.13):

$$Q - 0,5 \cdot q \leq k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H + c \sqrt{k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot q \cdot \sqrt{H}} < Q + 0,5 \cdot q \quad (\text{III.40})$$

onde c, tendo o mesmo significado dado em (III.9), é praticamente igual a 2,327.

A expressão (III.40), análogamente a (III.37), permitir-nos-á, para um preestabelecido q, obter as curvas (H, Q), desde que tenhamos estimado, previamente, os parâmetros k_1 , k_2 e v. As suas condições de aplicação (41, p. 717) são geralmente satisfeitas para $n \cdot p > 9$, o que lhe confere utilidade, pois, com a expressão (III.37), a tabela de Molina nos permitirá ir até $n \cdot p = 100$.

Poderemos apresentar (III.40) sob a forma seguinte:

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H + c \sqrt{k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot q \cdot \sqrt{H}} \quad (\text{III.41})$$

com a ressalva de que o resultado numérico do segundo membro dessa equação seja arredondado a um múltiplo inteiro de q, ressalva essa que só terá sentido prático em se tratando de valores pequenos de Q, relativamente a q.

Considerando (III.7), poderemos também escrever:

$$Q = M_{Q_x} + c \sqrt{q \cdot \overline{M_{Q_x}}} \quad (\text{III.42})$$

9.5 — Será útil introduzirmos, neste ponto, os conceitos de número equivalente de habitantes e fator de equivalência entre habitantes.

Definamos um número H de habitantes, pertinentes a uma rede que tenha determinadas características, como sendo equivalente a um número H' de habitantes, relativos a outra rede com características diferentes da primeira, quando a eles corresponder, nas redes respectivas, uma mesma vazão máxima provável, Q. A relação entre H e H', que representaremos por F_{II} , denominemos fator de equivalência entre habitantes:

$$F_{II} = \frac{H}{H'} \quad (\text{III.43})$$

A partir de (III.37), concluímos que, se as duas redes tiverem o mesmo tipo de peça (isto é, se $q = q'$), para que $Q = m \cdot q$ seja igual a $Q' = m' \cdot q'$, será preciso que $m = m'$, resultando:

$$M_x = M'_x$$

o que, dentro da distribuição de Poisson, nos leva a afirmar que, em redes com peças de tipo uniforme, o número de habitantes, relativo a uma dada vazão

máxima provável, é inversamente proporcional a k_1 , k_2 e v . Ou seja, em redes com peças de tipo uniforme:

$$F_{II} = \frac{k'_1 \cdot k'_2 \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \quad (III.44)$$

Portanto, para cada tipo de peça, se elaborarmos uma única tabela ou curva da função (H, Q) , referente a particulares valores dos parâmetros intervenientes, essa mesma tabela ou curva, dentro das condições preconizadas, fornecer-nos-á os valores (H', Q') relativos a redes com outras características. Com efeito, o valor Q' , pertinente a um genérico H' , será igual ao valor Q , dado pela tabela ou curva em correspondência ao H assim obtido:

$$H = F_{II} \cdot H' \quad (III.45)$$

9.6 — Tendo em vista facilitar as aplicações práticas, apresentemos, no Quadro III-6 e no Quadro III-7, valores (H, Q) referentes a redes com peças, respectivamente, de tipo I ($q = 0,30$ l/s) e de tipo II ($q = 1,90$ l/s), para o caso particular em que ambas tenham as características seguintes:

$$k_1 = k_2 = 1,50$$

$$v = \frac{200}{86\,400} \text{ litro/habitante, por segundo}$$

Na Fig. III-2, apresentemos as curvas correspondentes a essas duas tabelas. A Curva I se referirá à rede com peças de tipo I; a Curva II, às do tipo II.

Para redes com outras características, o uso das tabelas (H, Q) supramencionadas, ou das curvas correspondentes, poderá ser feito, conforme (III.44), mediante o seguinte fator de equivalência:

$$F_{II} = \frac{k'_1}{1,50} \cdot \frac{k'_2}{1,50} \cdot \frac{86\,400 \cdot v'}{200} \quad (III.46)$$

Para efeito comparativo, incluamos, nos quadros III-6 e III-7 e na Fig. III-2, os valores da vazão média, definida em (III.6), a qual, conforme (III.7) e (III.12), assumirá, nos dois casos particulares, a expressão:

$$M_{Q_x} = k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H = \frac{1,50 \cdot 1,50 \cdot 200}{86\,400} \cdot H \quad (III.47)$$

Apresentemos também, nos quadros III-6 e III-7, os valores do coeficiente k_x e dos coeficientes globais decorrentes, sendo k_x definido em III-3.5.4, igual à relação entre a vazão máxima provável e a vazão média:

$$k_x = \frac{Q}{M_{Q_x}} \quad (III.48)$$

Notemos que esses particulares valores (H, k_x) poderão ser utilizados em redes com outras características, mediante o mesmo fator de equivalência, F_{II} , expresso em (III.46).

9.7 — As expressões que deduzimos para as relações (H, Q) poderão ser adaptadas às relações (R, Q) , pois, de acordo com (III.14) e (III.36):

$$R = \frac{H}{h} \quad (III.49)$$

Em particular, poderemos definir, análogamente, os conceitos de número equivalente de prédios e fator de equivalência entre prédios. Este último, será expresso por:

$$F_{R'} = \frac{R}{R'} \quad (III.50)$$

VAZÃO DE DISTRIBUIÇÃO, Q (l/s)

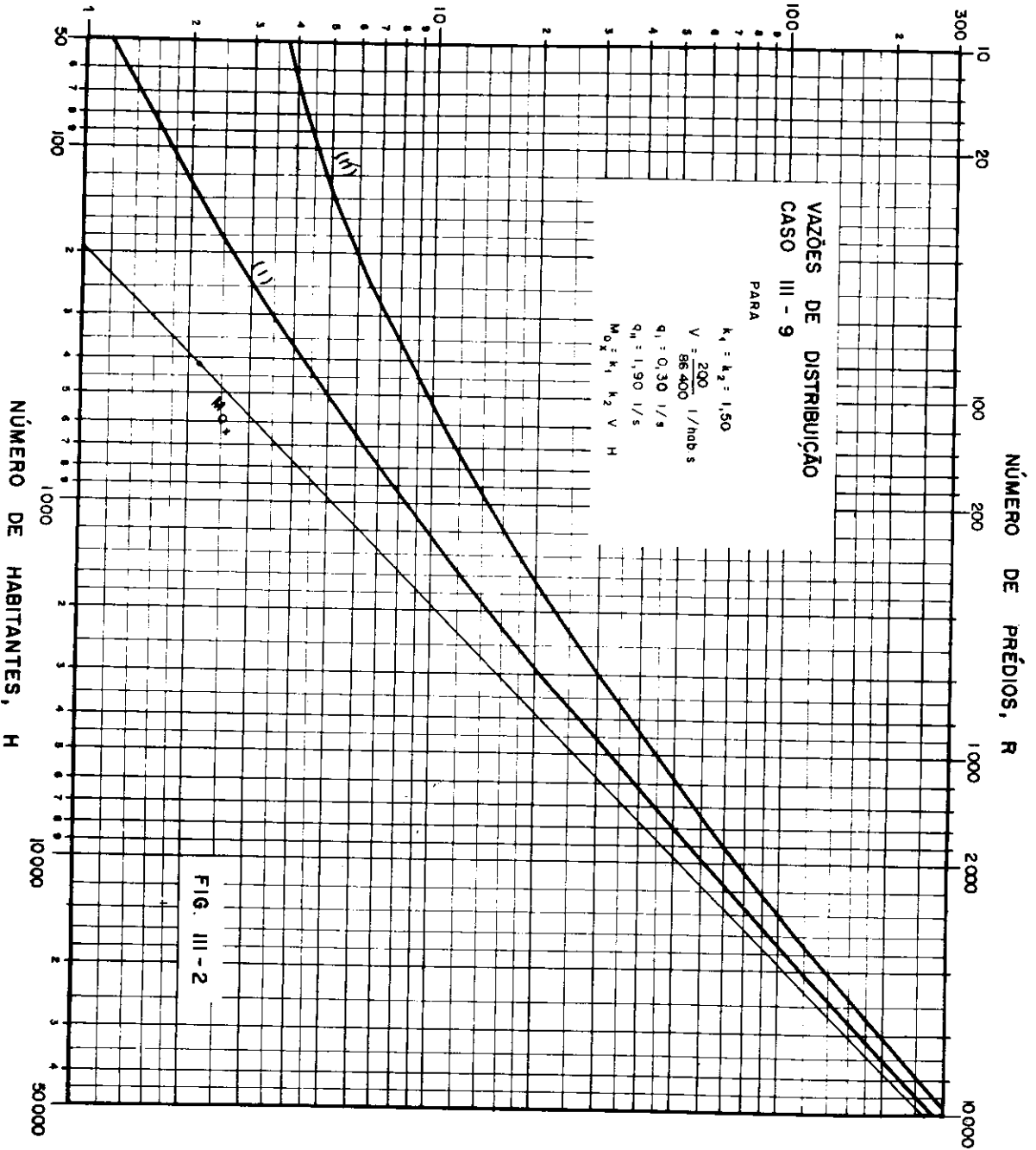


FIG. III - 2

E assumirá, em correspondência a (III.44), a forma seguinte:

$$F_R = \frac{k'_1 \cdot k'_2 \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \cdot \frac{h'}{h} \quad (III.51)$$

Nos quadros III-6 e III-7, juntamente com as relações (H, Q), apresentemos valores (R, Q) relativos àquelas duas redes particulares mencionadas, sob a condição complementar seguinte:

$$h = 5 \text{ hab/prédio}$$

em ambas as redes. Em correspondência a (III.46), teremos:

$$F_R = \frac{k'_1}{1,50} \cdot \frac{k'_2}{1,50} \cdot \frac{86\,400 \cdot v'}{200} \cdot \frac{h'}{5} \quad (III.52)$$

9.8 — Antes de prosseguir, procuremos situar o método de cálculo em estudo, em face de outros métodos de nosso conhecimento, por meio de uma breve comparação. Estes últimos, em termos gerais, poderemos dizer que se baseiam em fórmulas "rígidas", relativamente a um ou mais fatores intervenientes nas vazões de distribuição.

9.8.1 — O método baseado no coeficiente de distribuição em marcha constante — expresso por comprimento unitário, área unitária ou habitante — é o que tem

Quadro III-6

Valores de Q, M_{Qx} e coeficientes, em função de H e R

para

$$q = 0,30 \text{ l/s}; k_1 = k_2 = 1,50; v = \frac{200}{86\,400} \text{ l/hab.s}$$

Nº de habitantes H	Nº de prédios R	Vazão máx. provável Q (l/s)	Vazão média M_{Qx} (l/s)	k_3 Q/ M_{Qx}	$k_2 \cdot k_3$ 1,50 · k_3	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ 2,25 · k_3
29	6	0,90	0,15	6,00	9,00	13,50
52	10	1,20	0,27	4,44	6,66	9,99
75	15	1,50	0,39	3,85	5,78	8,66
104	21	1,80	0,54	3,33	5,00	7,49
138	28	2,10	0,72	2,92	4,38	6,57
173	35	2,40	0,90	2,67	4,01	6,01
207	41	2,70	1,08	2,50	3,75	5,63
242	48	3,00	1,26	2,38	3,57	5,36
317	63	3,60	1,65	2,18	3,27	4,91
392	78	4,20	2,04	2,06	3,09	4,64
472	94	4,80	2,46	1,95	2,93	4,39
559	112	5,40	2,91	1,86	2,79	4,19
639	128	6,00	3,33	1,80	2,70	4,05
858	172	7,50	4,47	1,68	2,52	3,78
1 094	219	9,00	5,70	1,58	2,37	3,56
1 555	311	12,00	8,10	1,48	2,22	3,33
2 074	415	15,00	10,81	1,39	2,09	3,13
4 550	910	30,00	23,71	1,27	1,91	2,86
10 000	2 000	61,20	52,10	1,17	1,76	2,63
15 000	3 000	89,10	78,20	1,14	1,71	2,57
25 000	5 000	145,00	130,00	1,12	1,68	2,52
40 000	8 000	227,00	208,00	1,09	1,64	2,45
60 000	12 000	335,00	313,00	1,07	1,61	2,41
80 000	16 000	443,00	417,00	1,06	1,59	2,39
100 000	20 000	550,00	521,00	1,06	1,59	2,39
200 000	40 000	1 080,00	1 040,00	1,04	1,56	2,34
300 000	60 000	1 610,00	1 560,00	1,03	1,55	2,32
500 000	100 000	2 670,00	2 610,00	1,02	1,53	2,30
1 000 000	200 000	5 300,00	5 210,00	1,02	1,53	2,30

sido usado com maior generalidade pelos projetistas de rêsas púlicas de distribuição de água. Na Fig. III-2, os valores pertinentes a este método são fornecidos pela reta M_{Qx} ; é evidente a sua discordância com as vazões indicadas pelas curvas (I) e (II). Poderemos obter uma idéia mais clara da inadequação do método do coeficiente constante, confrontando as grandezas expressas nos quadros III-6 e III-7 com as nossas conclusões exaradas em III-3.5.4.

No Quadro II-6, cujas rêsas intervenientes provêm do método do coeficiente constante, poderemos apreciar a extensão de canalizações afetadas por vazões de distribuição cujos valores seriam sensivelmente discrepantes, se confrontados com os resultados apontados pelo método de cálculo em estudo.

Consideremos, a seguir, outros métodos, dignos de menção embora menos usuais e, comparemo-los também com o método que estamos estudando.

9.8.2 — Por se tratar de problemas congêneres, vejamos quais as vazões de distribuição que resultarão em uma rêsas púlica, usando-se a fórmula recomendada pela A. B. N. T. (34, p. 15) para a estimativa das vazões de dimensionamento das canalizações prediais de água fria. Essa fórmula poderá ser escrita assim:

$$Q = 0,30 \sqrt{R \cdot \Sigma (\text{pesos})}$$

onde Q é a vazão em litros/segundo, R é o número de prédios (economias) abastecidos e Σ (pesos) é o peso global médio das peças de utilização, por prédio.

Suponhamos abastecimento predominantemente residencial, com $h = 5$ habitantes/residência, abrangendo os seguintes dois casos a serem tratados em separado:

Quadro III-7

Valores de Q, M_{Qx} e coeficientes, em função de H e R

para

$$q = 1,90 \text{ l/s}; k_1 = k_2 = 1,50; v = \frac{200}{86 \cdot 400} \text{ l/hab.s}$$

Nº de habitantes H	Nº de prédios R	Vazão máx. provável Q (l/s)	Vazão média M_{Qx} (l/s)	k_3 Q/ M_{Qx}	$k_2 \cdot k_3$ 1,50 · k_3	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$ 2,25 · k_3
55	11	3,80	0,29	13,10	19,65	29,48
182	36	5,70	0,95	6,00	9,00	13,50
328	66	7,60	1,71	4,44	6,66	9,99
474	95	9,50	2,47	3,85	5,78	8,66
657	131	11,40	3,42	3,33	5,00	7,49
876	175	13,30	4,56	2,92	4,38	6,57
1 094	219	15,20	5,70	2,67	4,01	6,01
1 313	263	17,10	6,84	2,50	3,75	5,63
1 532	306	19,00	7,98	2,38	3,57	5,36
2 006	401	22,80	10,45	2,18	3,27	4,91
2 481	496	26,60	12,93	2,06	3,09	4,64
2 991	598	30,40	15,58	1,95	2,93	4,39
3 539	708	34,20	18,44	1,85	2,78	4,16
4 049	810	38,00	21,10	1,80	2,70	4,05
5 436	1 087	47,50	28,32	1,68	2,52	3,78
6 931	1 386	57,00	36,11	1,58	2,37	3,56
9 850	1 970	76,00	51,32	1,48	2,22	3,33
13 133	2 627	95,00	68,42	1,39	2,09	3,13
28 819	5 764	190,00	150,00	1,27	1,91	2,86
40 000	8 000	255,00	208,00	1,23	1,85	2,77
60 000	12 000	369,00	313,00	1,18	1,77	2,66
80 000	16 000	481,00	417,00	1,15	1,73	2,59
100 000	20 000	593,00	521,00	1,14	1,71	2,57
200 000	40 000	1 140,00	1 040,00	1,10	1,65	2,48
300 000	60 000	1 690,00	1 560,00	1,08	1,62	2,43
500 000	100 000	2 770,00	2 610,00	1,06	1,59	2,39
1 000 000	200 000	5 440,00	5 210,00	1,04	1,56	2,34

a) Σ (pesos) = 4,1 em residências contendo bacia sanitária com caixa de descarga;

b) Σ (pesos) = 43,8 em residências contendo bacia sanitária com válvula de descarga.

Esses valores provêm do Quadro III-8, onde discriminamos os aparelhos de uma instalação admitida como média, com os pesos das respectivas peças de utilização conforme estipulados pela A. B. N. T.

QUADRO III-8

A p a r e l h o s	Pésos (ABNT)	
Bacia sanitária com caixa de descarga	0,3	—
Bacia sanitária com válvula de descarga	—	40,0
Banheira	1,0	1,0
Bidé	0,1	0,1
Chuveiro	0,5	0,5
Lavatório	0,5	0,5
Pia de cozinha	0,7	0,7
Tanque de lavar	1,0	1,0
Σ (pésos)	4,1	43,8

Na Fig. III-3, tracemos os gráficos (R, Q) e (H, Q) correspondentes. Serão constituídos por duas retas, (1) e (2), as quais se referirão, respectivamente, a residências com caixa de descarga, C. D., e com válvula de descarga, V. D. Ficará evidente a inconsistência dessas retas, em face da conformação probabilística demarcada pelas curvas (I) e (II).

9.8.3 — Examinemos um procedimento análogo ao anterior, substituindo a fórmula da A. B. N. T. pelo método proposto por Hunter (45). Computemos o peso global médio dos aparelhos, por prédio, usando a tabela do N. B. S., National Bureau of Standards (46, p. 40).

Em correspondência à instalação predial exposta no Quadro III-8, consignaremos, agora, os pesos ("fixture units") seguintes:

- a) Residência tendo banheiro provido de bacia sanitária com
C. D. 10 unid/prédio
- b) Residência tendo banheiro provido de bacia sanitária com
V. D. 12 unid/prédio

A partir desses pesos globais médios por prédio, determinemos, nas curvas de Hunter, duas séries de valores (R, Q). Levaremos essa determinação até o limite de 30 000 "fixture units", recorrendo ao prolongamento daquelas curvas para grandes edifícios, conforme Manas (49, p. 24-17).

Na Fig. III-3, tracemos os gráficos (R, Q) e (H, Q) correspondentes. Obteremos as curvas (3) e (4), para residências com caixa de descarga e válvula de descarga, respectivamente. Poderemos notar que a curva (3) acusa anomalias, inclusive tendendo a guardar paralelismo com a curva (4), o que decorre de hipóteses simplificadoras introduzidas por Hunter. Outrossim, a posição de ambas as curvas, no diagrama, depende dos aludidos pesos, grandezas imaginadas por Hunter como artifício para resolver o problema teórico, grandezas essas arbitradas, com certo empirismo, pelo N. B. S.

9.8.4 — Fórmula de Flores.

O Prof. Flores (54, p. 37) propôs uma fórmula para cálculo das vazões de distribuição, a qual, dentro do nosso sistema de notação, assim se escreve:

$$Q = \frac{12 \cdot v \cdot H}{\log H}$$

Adotando:

$$v = \frac{200}{86\,400} \text{ l/hab.s}$$

vem:

$$Q = 0,02778 \frac{H}{\log H}$$

Na Fig. III-3, tracemos a curva (5), representativa desta equação. Como poderemos vêr, trata-se de uma fórmula capaz de fornecer resultados melhores que o método do coeficiente de distribuição em marcha constante, embora seja "rígida" em relação ao tipo de peças de utilização e aos fatores de variação sazonal intervinientes.

9.8.5 — Tabela de Taylor.

Com base em consumos medidos diretamente acrescidos de percentagens destinadas a considerar hipotéticas estiagens mais desfavoráveis, Taylor (4, p. R-136) elaborou uma tabela de vazões de distribuição destinadas ao dimensionamento de rêdes onde não se requeira serviço contra o fogo. É uma tabela (R, Q), isto é, dá a vazão em função do número de prédios. Todos os prédios são assimilados aos de ocupação residencial, com bacias sanitárias dotadas de caixa de descarga (peças de utilização de tipo I). As vazões são apresentadas em função de 4 classes de distribuição, caracterizadas por quatro níveis de habitação considerados como típicos da classe.

Admitiremos, dentro do estudo comparativo que estamos empreendendo, a Classe 2 como a que melhor se enquadra ao nosso caso. Eventualmente, poderá ser a Classe 3. Taylor caracteriza-as da forma seguinte.

a) Classe 2. — Pequenas casas com um banheiro, em lote pequeno. Pequenas casas de aluguel, simples ou duplas (geminadas). Muito pouca rega de jardim. Cada lado de uma casa dupla ("duplex") é considerada como uma residência.

b) Classe 3. — Casas com 2 a 3 quartos, em média com boas subdivisões, 80% tendo um banheiro e 20% tendo dois banheiros. Casas de propriedade do ocupante, com quantidade média de gramados e arbustos, requerendo quantidade média de água para irrigação.

Representemos, na Fig. III-3, os valores (R, Q), dados por Taylor, com R indo de 10 a 500 casas, para as duas classes acima. Serão os gráficos (6) e (7), este último praticamente coincidente com o gráfico (1). Como se poderá ver, os dados de Taylor também conduzem a uma representação gráfica por meio de reta.

9.8.6 — Curva de Davies.

Delwyn G. Davies (3, p. 41) preparou, tentativamente, um gráfico representando a relação provável entre a "possible maximum load ratio" (correspondente a Q/Q_A , na nossa notação) e o número de habitantes servidos. Valores dessa relação extraídos do mencionado gráfico, acham-se expostos na página seguinte:

H (hab.)	Q/Q _A	H (hab.)	Q/Q _A
5 000	10,0	50 000	2,9
6 000	8,9	60 000	2,7
7 000	8,2	70 000	2,5
8 000	7,6	90 000	2,4
9 000	7,1	100 000	2,3
10 000	6,7	200 000	2,1
20 000	4,5	300 000	2,1
30 000	3,7	400 000	2,0
40 000	3,2	500 000	2,0

Adotando:

$$Q_A = \frac{200}{86\,400} \cdot H$$

em litros/segundo, tracemos a curva (H, Q), representando-a como gráfico (8), na Fig. III-3.

10 — CURVAS (H, Q) e (R, Q) EM RÊDES COM PEÇAS DE TIPO HETEROGÊNEO

10.1 — Dentro da aproximação à distribuição de Poisson, as séries de valores (m_I , m_{II}), a serem determinadas por meio da expressão (III.20), ficarão completamente definidas se conhecermos os valores das médias M_{x_I} e $M_{x_{II}}$.

Por outro lado, conforme (III.21):

$$M_{x_I} = n_I \cdot p_I = (1 - b) k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H \left(\frac{1}{q_I} \right) \quad (III.53)$$

$$M_{x_{II}} = n_{II} \cdot p_{II} = b \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot v \cdot H \left(\frac{1}{q_{II}} \right)$$

Concluimos, portanto, que:

a) as curvas (H, Q) poderão ser obtidas independentemente da estimativa dos parâmetros H/n_I , H/n_{II} , p_I e p_{II} ;

b) sendo q_I e q_{II} conhecidos, poderemos obter as curvas (H, Q), desde que tenhamos estimado, previamente, os parâmetros b , k_1 , k_2 e v ;

c) dois números, H e H', de habitantes abastecidos por rêsdes com aparelhos de tipos heterogêneos (tipos I e II, em ambas as rêsdes), serão equivalentes, se a ambos corresponderem os mesmos valores, respectivamente, de M_{x_I} e $M_{x_{II}}$;

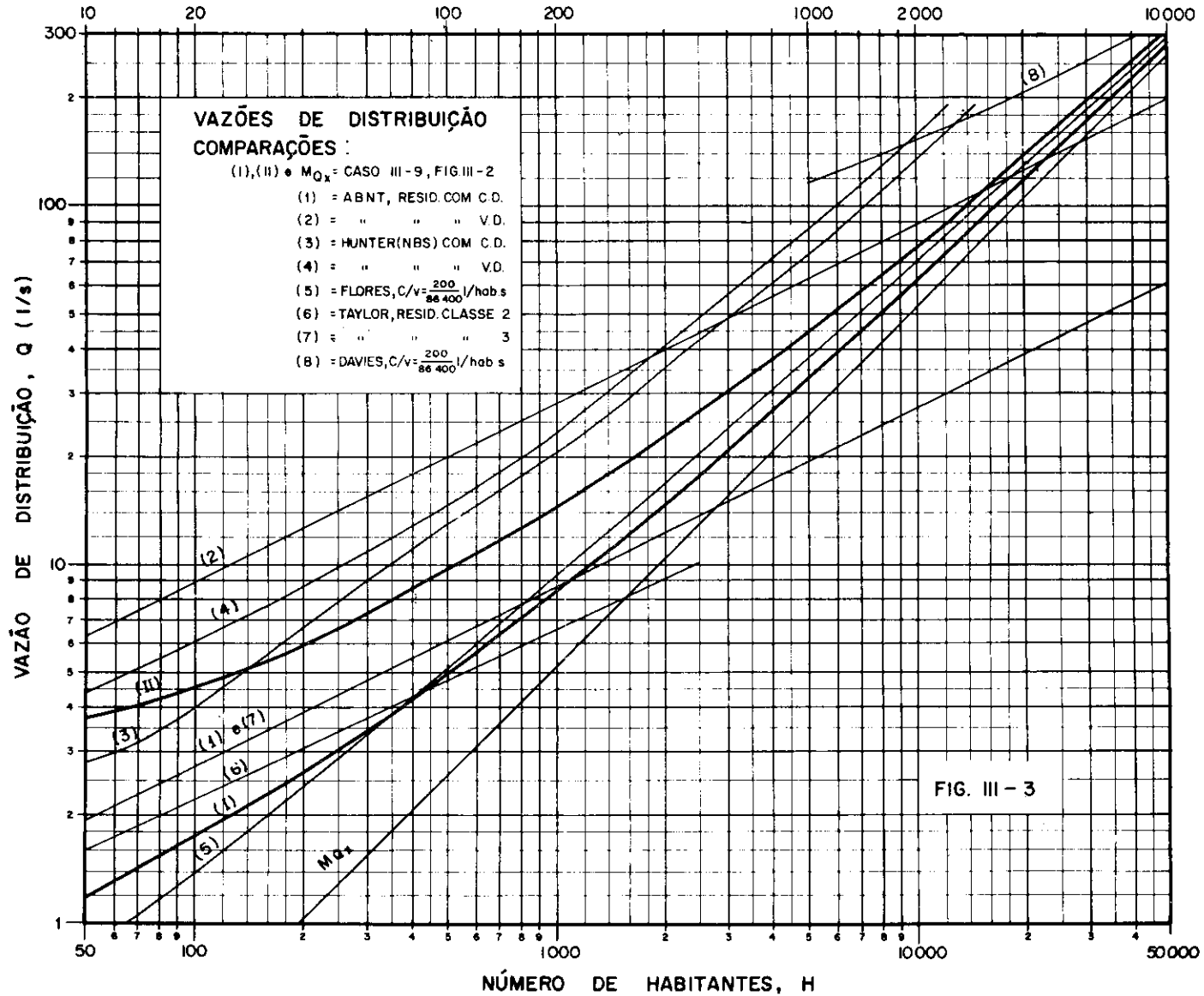
d) ambas as médias serão, diretamente, proporcionais a k_1 , k_2 e v ;

e) se fixarmos um valor para $M_{x_{II}}$, os valores de M_{x_I} e H ficarão determinados pelas seguintes expressões, deduzidas de (III.53):

$$n_I \cdot p_I = \frac{1 - b}{b} \cdot \frac{q_{II}}{q_I} \cdot n_{II} \cdot p_{II} \quad (III.54)$$

$$H = \frac{1}{b} \cdot \frac{q_{II}}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \cdot n_{II} \cdot p_{II}$$

NÚMERO DE PRÉDIOS, R



10.2 — Como consequência das três últimas conclusões, poderemos exprimir o fator de equivalência entre habitantes, para duas redes que tenham o mesmo parâmetro b .

Isto é, para $b = b'$:

$$F_{II} = \frac{H}{H'} = \frac{k'_1 \cdot k'_2 \cdot v'}{k_1 \cdot k_2 \cdot v} \quad (\text{III.55})$$

expressão que, formalmente, concide com (III. 44).

Quadro III-9

Valores (m_1, m_2) e (H, Q) mais desfavoráveis (*)

para $k_1 = k_2 = 1,50$; $v = \frac{200}{86\ 400}$ l/hab.s

b	m_{II}	$p_{m_{II}}^{n_{II}}$	$n_{II} \cdot p_{II}$	H	$n_1 \cdot p_1$	$0,01/p_{m_{II}}^{n_{II}}$	m_1	Q
0,25	1	0,0196	0,02	30	0,380	0,510	0	1,90
	2	0,0109	0,16	234	3,04	0,917	1	4,10
	3	0,0126	0,50	730	9,50	0,794	7	7,80
	4	0,0111	0,90	1 314	17,1	0,901	12	-
	5	0,0494	0,90	1 314	17,1	0,212	20	11,70
	6	0,0111	1,4	2 043	26,6	0,901	20	-
	7	0,0395	1,4	2 043	26,6	0,253	30	16,60
	8	0,0120	2,0	2 919	38,0	0,833	32	-
	9	0,0361	2,0	2 919	38,0	0,277	42	22,10
	10	0,0104	4,5	6 567	85,5	0,962	69	-
	11	0,0232	4,5	6 567	85,5	0,431	87	43,20
0,50	1	0,0196	0,02	15	0,127	0,510	0	1,90
	2	0,0109	0,16	117	1,01	0,917	0	3,80
	3	0,0126	0,50	365	3,17	0,794	2	6,30
	4	0,0111	0,90	657	5,70	0,901	3	8,50
	5	0,0111	1,4	1 022	8,87	0,901	5	11,00
	6	0,0120	2,0	1 460	12,7	0,833	9	14,10
	7	0,0104	4,5	3 284	28,5	0,962	19	-
	8	0,0232	4,5	3 284	28,5	0,431	29	25,80
	9	0,0104	10,5	7 661	66,5	0,962	52	-
	10	0,0177	10,5	7 661	66,5	0,565	65	51,80
	11	0,0100	14,5	10 580	91,8	1,000	64	-
12	0,0159	14,5	10 580	91,80	0,629	89	68,50	
0,75	1	0,0196	0,02	10	0,042	0,510	0	1,90
	2	0,0109	0,16	78	0,338	0,917	0	3,80
	3	0,0126	0,50	244	1,06	0,794	0	5,70
	4	0,0111	0,90	438	1,90	0,901	0	7,60
	5	0,0111	1,4	681	2,96	0,901	1	9,80
	6	0,0120	2,0	973	4,22	0,833	2	12,00
	7	0,0104	4,5	2 189	9,50	0,962	4	20,20
	8	0,0104	10,5	5 108	22,2	0,962	14	-
	9	0,0177	10,5	5 108	22,2	0,565	21	38,60
	10	0,0154	17,0	8 269	35,9	0,649	34	57,70
	11	0,0125	20,0	9 728	42,2	0,800	37	66,20

(*) Os valores individuais e acumulados das probabilidades foram caseados na tabela de Molina.

10.3 — Tendo em vista facilitar as aplicações práticas, apresentemos, no Quadro III-10, valores (H, Q) referentes a rêdes com o parâmetro b, respectivamente, igual a 25%, 50% e 75%, para o caso particular em que essas três rêdes tenham as seguintes características em comum:

$$k_1 = k_2 = 1,50$$

$$v = \frac{200}{86\,400} \text{ litro/habitante, por segundo}$$

Precedendo o Quadro III-10, resumamos, no Quadro III-9, dados informativos sobre a obtenção dos valores (H, Q) mais desfavoráveis.

Na Fig. III-4, apresentemos as curvas (H, Q) correspondentes aos três casos em referência. Tracemos, também, a Curva I e a Curva II, que já haviam sido expostas na Fig. III-2, as quais, conforme é agora oportuno salientar, constituirão dois outros casos particulares, onde, respectivamente:

$$b = 0$$

e

$$b = 100\%$$

Para rêdes com outras características, dentro das condições mencionadas, poderemos usar a mesma tabela ou curvas, mediante aplicação do fator de equivalência. Êste será calculado pela fórmula (III.55).

Quadro III-10

Valores de Q, M_{Q_x} e coeficientes, em função de H e R

$$\text{para } k_1 = k_2 = 1,50; v = \frac{200}{86\,400} \text{ l/hab.s}$$

b	H	R	Q (l/s)	M_{Q_x} (%)	k_3	$k_2 \cdot k_3$	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$
25%	30	6	1,90	0,16	11,88	17,82	26,73
	234	47	4,10	1,22	3,36	5,04	7,56
	730	146	7,80	3,80	2,05	3,08	4,61
	1 314	263	11,70	6,85	1,71	2,57	3,85
	2 043	409	16,60	10,64	1,56	2,34	3,51
	2 919	584	22,10	15,21	1,45	2,18	3,26
	6 567	1 313	43,20	34,21	1,26	1,89	2,84
	7 588	1 518	49,00	39,53	1,24	1,86	2,79
	50%	15	3	1,90	0,08	23,75	35,63
117		23	3,80	0,61	6,23	9,35	14,02
365		73	6,30	1,90	3,32	4,98	7,47
657		131	8,50	3,42	2,49	3,74	5,60
1 022		204	11,00	5,32	2,07	3,11	4,66
1 460		292	14,10	7,61	1,85	2,78	4,16
3 284		657	25,80	17,11	1,51	2,27	3,40
7 661		1 532	51,80	39,91	1,30	1,95	2,93
10 580		2 116	68,50	55,12	1,24	1,86	2,79
75%		10	2	1,90	0,05	38,00	57,00
	78	16	3,80	0,41	9,27	13,91	20,86
	244	49	5,70	1,27	4,49	6,74	10,10
	438	88	7,60	2,28	3,33	5,00	7,49
	681	136	9,80	3,55	2,76	4,14	6,21
	973	195	12,00	5,07	2,37	3,56	5,33
	2 189	438	20,20	11,40	1,77	2,66	3,98
	5 108	1 022	38,60	26,61	1,45	2,18	3,26
	8 269	1 654	57,70	43,08	1,34	2,01	3,02
	9 728	1 946	66,20	50,68	1,31	1,97	2,95

Anàlogamente ao procedido em III-9.6, incluíamos, no Quadro III-10, os valores de M_{Q_x} , de k_3 e dos coeficientes globais decorrentes. E, também, as relações (R, Q), sendo R expresso por (III. 49), com fator de equivalência, F_R , dado por (III.51).

11 — INTRODUÇÃO DOS FATÓRES DE PERDA NO CALCULO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO

11.1 — Hipóteses de cálculo.

Nos estudos precedentes, supuzemos que a vazão de distribuição, Q, fôsse apenas resultante do funcionamento, casualmente simultâneo, de um certo número de peças de utilização em regime intermitente.

Na prática, ocorrem certas demandas de água que não se conformam com essa hipótese. Tratam-se de escoamentos contínuos durante a hora de maior consumo, solicitados por vazamentos causadores de perdas.

Admitamos que os referidos vazamentos contínuos se processem com vazão constante em relação ao tempo, durante o intervalo de máximo consumo horário. E que a sua ocorrência seja independente da operação das peças de utilização. De modo que, num instante casual, a vazão em uma secção genérica da rede será exatamente igual à vazão de operação conjunta das x peças que estejam em funcionamento nesse instante, somada à vazão atribuível às perdas ocorrentes à jusante da secção em consideração.

11.2 — Expressão das vazões de distribuição.

Partindo da fórmula (III.1), escrevamos agora:

$$Q = m \cdot q + E \quad (\text{III.56})$$

onde E é a vazão causada pelas perdas.

11.3 — Considerações sobre os fatores de perda.

11.3.1 — O valor de E depende da qualidade de construção e manutenção das instalações públicas e particulares, qualidade essa relacionada à eficiência da administração do sistema público de abastecimento. Depende, também, do número de eventos que possam dar causa a vazamentos e do tamanho desses vazamentos. Ou seja, poderemos admitir que varie linearmente com o número de juntas (e, assim, com o comprimento) e diâmetro da canalização pública, com o número, diâmetro e extensão dos ramais prediais e com o número de peças de utilização; e, ainda, que varie com a raiz quadrada da pressão hidráulica vigente.

Quantitativamente, de acôrdo com a sua localização, escrevamos:

$$E = E_p + E_R + E_S \quad (\text{III.57})$$

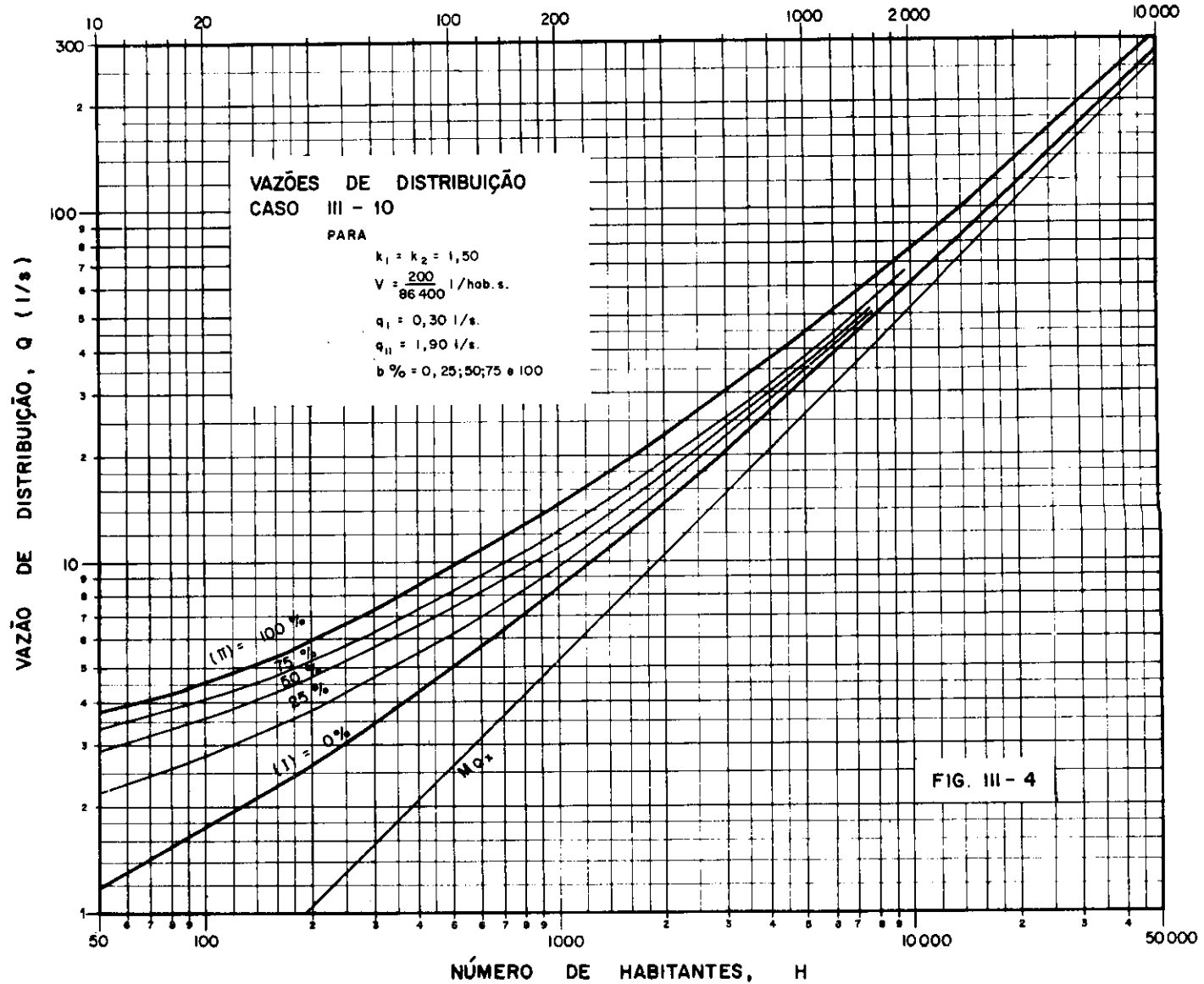
onde E_p , E_R e E_S são as vazões causadas pelos fatores de perda, respectivamente, na rede pública pròpriamente dita, nos ramais prediais e nas instalações prediais.

11.3.2 — O valor de E_p poderá ser expresso como:

$$E_p = E'_{o_p} \cdot \sum j_i \cdot L_i \cdot D_i \sqrt{P_i} + E''_{o_p} \cdot \sum L_i \cdot D_i \cdot \sqrt{P_i} = E_{o_p} \cdot \sum L_i \cdot D_i \sqrt{P_i} \quad (\text{III.58})$$

onde E'_{o_p} é a perda específica nas juntas; E''_{o_p} é a perda específica nos tubos; E_{o_p} = perda específica na tubulação = $E'_{o_p} \cdot j_i + E''_{o_p}$ (admitido j_i praticamente constante); j_i , L_i , D_i e P_i são, respectivamente, o número de juntas por unidade de comprimento, o comprimento, o diâmetro e a pressão (na hora de máximo consumo) de cada trecho, sendo a somatória estendida a todos os trechos situados à jusante da secção genérica em consideração. Devendo-se notar que $j_i \cdot L_i$ representa o número de juntas no trecho de ordem i.

NÚMERO DE PRÉDIOS, R



O fator $E_{o,p}$ exprime a perda específica nas tubulações públicas, isto é, a vazão perdida quando os demais fatores — comprimento, diâmetro e pressão — se reduzem ao valor unitário. É, pois, um coeficiente capaz de bem caracterizar a qualidade de construção e manutenção da rede pública.

A American Water Works Association, nas suas especificações para construção de tubulações de ferro fundido (55, p. 15), preconiza que não se aceite nenhuma canalização enquanto a perda respectiva não for menor que o número de galões por hora dado pela fórmula:

$$L = \frac{N \cdot D \sqrt{P}}{1\ 850}$$

em que, L é a perda admissível, em galões por hora; N é o número de juntas na extensão de linha submetida ao ensaio de vazamento; D é o diâmetro nominal da canalização, em polegadas; e P é a pressão média durante o ensaio, em libras por polegada quadrada (usualmente estabelecida como a máxima pressão para a localidade, atuando no ponto mais baixo da linha).

Essa especificação nos sugere inferir que, em redes novas, o fator $E_{o,p}$ deverá ser menor que $1/1\ 850$, nas unidades mencionadas. Ou seja, inferior a 0,000 304 litros por hora, por junta, por milímetro de diâmetro nominal e por $(\text{kg}^*/\text{cm}^2 \text{ de pressão})^{0,5}$. Ou ainda, menor que 0,05 litros por hora, por quilômetro de rede, por milímetro de diâmetro nominal e por $(\text{kg}^*/\text{cm}^2 \text{ de pressão})^{0,5}$, se admitirmos uma junta em cada seis metros de canalização.

11.3.3 — Análogamente, poderemos exprimir E_R e E_S da seguinte forma:

$$E_R = E'_{o,R} \sum l_i \cdot R_i \cdot d_i \sqrt{P_i} + E''_{o,R} \sum R_i \cdot d_i \sqrt{P_i} = E_{o,R} \sum R_i \cdot d_i \sqrt{P_i} \quad (\text{III.59})$$

$$E_S = E_{o,S} \cdot \sum N_i \cdot R_i \sqrt{P_i}$$

onde $E'_{o,R}$ = perda específica na tubulação dos ramais prediais; $E''_{o,R}$ = perda específica nas peças de derivação; $E_{o,R}$ é a perda específica nos ramais prediais; l_i é a extensão de ramal predial, por prédio, em cada trecho; R_i é o número de prédios por trecho; d_i é o diâmetro dos ramais prediais, por trecho; $E_{o,S}$ é a perda específica nas instalações prediais; N_i é o número de peças de utilização por prédio, em cada trecho; as somatórias sendo estendidas a todos os trechos situados à jusante da secção em consideração. Admitido l_i praticamente constante:

$$E_{o,R} = E'_{o,R} \cdot l_i + E''_{o,R}$$

11.3.4 — Na prática, como j_i , l_i e N_i são aproximadamente constantes; como D_i varia dentro de intervalo relativamente limitado (devendo-se notar que as canalizações de grande diâmetro são, comparativamente, em pequeno número); como P_i também varia dentro de intervalo relativamente limitado; e como, nas fórmulas (III.58) e (III.59), $\sum l_i$ e $\sum R_i$ são em regra proporcionais à população H abastecida e, dessa maneira, proporcionais à vazão média anual Q_A , poderemos escrever:

$$E = E_o \cdot Q_A \quad (\text{III.60})$$

onde E_o , que em primeira aproximação admitiremos como constante para uma dada rede, representa a fração da vazão média anual consumida pelas perdas.

Aliás, sob a simplificação desse modo entendida, é que correntemente têm sido apresentadas as previsões e os resultados de investigações sobre perdas de água no sistema de distribuição.

Geralmente se espera que o valor de E_o não ultrapasse um limite compreendido entre 10% e 25%. Inclusive entre os norte-americanos, não obstante as pressões e os diâmetros mais elevados, normalmente em uso em seu país. Valores bem maiores para E_o , todavia, têm sido encontrados em comunidades carentes de recursos para desenvolver medidas adequadas de controle e manutenção. Neste particular, expressivos são uns dados catalogados pela companhia The Pitometer As-

sociates, em pesquisas que realizou, sobre perdas de água, em cidades hispano-americanas de diversos tamanhos (56, p. 43); transcrevamos, êsses dados, no Quadro III-11. Os dados constantes dêste quadro poderão ser considerados também representativos de muitas cidades brasileiras, com serviços tidos como bem operados, conforme depreendemos da leitura de um trabalho de Assis e Victoretti (57).

QUADRO III-11

Perdas determinadas por estudos pitométricos em várias cidades hispano-americanas

Cidade	População	Consumo total (m ³ /dia)	Perdas determinadas	
			m ³ /dia	Percent. sobre o consumo total
1	15 000	7 630	3 890	51
2	90 000	13 300	4 140	31
3	260 000	77 600	37 300	48
4	400 000	32 100(*)	14 100	44
5	400 000	107 870	33 530	31
6	800 000	416 350	85 500	21
7	1 000 000	28 400(*)	8 580	30

(*) Estudo verificado em apenas um setor.

11.4 — Determinação das vazões de distribuição.

11.4.1 — A solução do problema será obtida considerando a rede em questão como resultante da sobreposição das duas redes fictícias analisadas a seguir.

11.4.2 — Rede com demandas contínuas, com vazão crescente no sentido de montante.

Nesta rede, determinaremos a parcela E a ser aplicada na fórmula (III.56). Recorrendo às expressões (III.12) e (III.60), teremos:

$$E = E_0 \cdot v \cdot H \quad (\text{III.61})$$

equação que nos permitirá traçar a curva (H, E), conhecidos os parâmetros E_0 e v.

11.4.3 — Rede com demandas causadas somente por peças de utilização em regime intermitente.

a) A análise desta rede irá nos fornecer a parcela m . q pertinente à fórmula (III.56).

b) Em uma secção genérica da rede original, a vazão média, M_Q , na hora de maior consumo do dia de maior consumo, poderá ser expressa do seguinte modo, por generalização da equação (III.7):

$$M_{Q_x} + G = M_Q = k_1 \cdot k_2 \cdot Q_A \quad (\text{III.62})$$

onde M_{Q_x} é a vazão média causada por peças de utilização abastecidas diretamente pela rede e G é a vazão média oriunda de demandas contínuas à rede, no período considerado.

Essa expressão nos conduzirá à seguinte:

$$M_{Q_x} = k_1 \cdot k_2 \cdot Q_A - G \quad (\text{III.63})$$

Escrevendo, por outro lado:

$$G = G_0 \cdot Q_A \quad (\text{III.64})$$

onde G_0 representa a fração da vazão média anual, Q_A , abrangida por G, virá:

$$M_{Q_x} = (k_1 \cdot k_2 - G_0) Q_A \quad (\text{III.65})$$

Conseqüentemente, dentro da aproximação à distribuição de Poisson, os valores (H, m, q), da rede fictícia abastecedora somente de peças de utilização em regime intermitente, poderão ser extraídos das curvas descritas em III-9 e III-10. Com efeito, a aplicabilidade daquelas curvas, em face da presença da grandeza G , poderá ser proporcionada mediante um fator de equivalência entre habitantes. Em particular, escreveremos:

$$F_{II} = \frac{k'_1 \cdot k'_2}{k_1 \cdot k_2}$$

onde:

$$k'_1 \cdot k'_2 = k_1 \cdot k_2 - G_0 \quad (III.66)$$

Mercê dessa equivalência, poderemos, assim, reverter a análise desta rede fictícia aos procedimentos já examinados anteriormente.

c) No caso particular que estamos tratando, as demandas contínuas à rede serão decorrentes de apenas os fatores de perda.

Portanto: $G = E$

Introduzindo (III.60), virá:

$$M_{Q_x} = (k_1 \cdot k_2 - E_0) Q_A \quad (III.67)$$

resultando, para (III.66):

$$k'_1 \cdot k'_2 = k_1 \cdot k_2 - E_0 \quad (III.68)$$

11.4.4 — Será conveniente consignarmos, abaixo, uma observação e uma ressalva concernentes ao método de cálculo que viemos de descrever.

a) Para uma dada vazão média, M_Q , a introdução de uma vazão contínua uniformemente distribuída sobre a rede, no caso representada pelas perdas, constituirá fator de atenuação do valor da vazão máxima provável, Q , previsível na secção genérica.

b) A admissão, em (III.60), (III.61) e (III.68), que E_0 é constante no decurso do tempo, constitui hipótese que pecará um pouco contra a segurança. Porque, em verdade, no período de nosso interesse, isto é, na hora de máximo consumo, as pressões dinâmicas na rede serão mínimas e, dêsse modo, E será inferior à vazão média anual demandada pelas perdas. A rigor, portanto, aquelas fórmulas encerrariam um fator de correção, denotando um coeficiente para a hora de mínimas perdas. De maneira que, ao invés de E_0 , escreveríamos $k_E \cdot E_0$, sendo k_E inferior a um e função da relação entre a pressão dinâmica na hora de maior consumo e a pressão dinâmica média anual.

11.5 — Curvas (H, Q) e (R, Q).

A título de ilustração da aplicação do método, e objetivando visualizar a magnitude da influência das perdas, apresentemos, a seguir, quatro casos típicos, todos referentes a redes com peças de utilização de tipo uniforme. Os parâmetros que os caracterizam estão resumidos no Quadro III-12.

QUADRO III-12

Caso n.º	$k_1 \cdot k_2$	v (l/hab. dia)	q (l/s)	E_0
IA	1,5 . 1,5	200	0,30	25%
IB	1,5 . 1,5	200	0,30	50%
IIA	1,5 . 1,5	200	1,90	25%
IIB	1,5 . 1,5	200	1,90	50%

A fórmula (III.61), nos casos IA e IIA assim se escreverá:

$$E = 0,25 \cdot \frac{200}{86\,400} \cdot H = \frac{H}{1\,728}$$

e, nos casos IB e IIB:

$$E = 0,50 \cdot \frac{200}{86\,400} \cdot H = \frac{H}{864}$$

Conforme (III.66), teremos o seguinte fator de equivalência, F_{II} , para reversão efeito que 8 habitantes da rede configurada pela Curva I, Fig. III-2.

$$F_{II} = \frac{1,50 \cdot 1,50 - 0,25}{1,50 \cdot 1,50} = \frac{8}{9}$$

Vemos que cada 9 habitantes da rede fictícia em aprêço produzirão o mesmo efeito que 8 habitantes da rede configurada pela Curva I, Fig. III-2.

Da mesma forma, o fator de equivalência, para reversão da rede fictícia parcial do Caso IIA à Curva II da Fig. III-2, será:

$$F_{II} = \frac{8}{9}$$

E, para os casos IB e IIB, teremos, respectivamente, em relação às curvas I e II da Fig. III-2:

$$F_{II} = \frac{1,50 \cdot 1,50 - 0,50}{1,50 \cdot 1,50} = \frac{7}{9}$$

Quadro III-13

Valores de Q, M_Q e coeficientes, em função de H
para $q = 0,30$ l/s; $k_1 = k_2 = 1,50$; $v = \frac{200}{86\,400}$ l/hab.seg

Caso Nº	H	Peças		E (l/s)	Q (l/s)	M_Q (l/s)	k_3	$k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$
		Nº Eq. de H	Vazão (l/s)					
IA	33	29	0,90	0,02	0,92	0,17	5,41	12,17
	59	52	1,20	0,03	1,23	0,31	3,97	8,93
	84	75	1,50	0,05	1,55	0,44	3,52	7,92
	117	104	1,80	0,07	1,87	0,61	3,07	6,91
	155	138	2,10	0,09	2,19	0,81	2,70	6,08
	233	207	2,70	0,14	2,84	1,21	2,35	5,29
	357	317	3,60	0,21	3,81	1,86	2,05	4,61
	531	472	4,80	0,31	5,11	2,77	1,84	4,14
	719	639	6,00	0,42	6,42	3,74	1,72	3,87
	1 231	1 094	9,00	0,72	9,72	6,41	1,52	3,42
	1 749	1 555	12,00	1,02	13,02	9,11	1,43	3,22
	2 333	2 074	15,00	1,36	16,36	12,15	1,35	3,04
	5 119	4 550	30,00	2,99	32,99	26,66	1,24	2,79
	8 438	7 500	47,10	4,93	52,03	43,95	1,18	2,66
IB	37	29	0,90	0,04	0,94	0,19	4,95	11,14
	67	52	1,20	0,08	1,28	0,35	3,66	8,24
	96	75	1,50	0,11	1,61	0,50	3,22	7,25
	134	104	1,80	0,16	1,96	0,70	2,80	6,30
	177	138	2,10	0,21	2,31	0,92	2,51	5,65
	266	207	2,70	0,31	3,01	1,39	2,17	4,88
	408	317	3,60	0,48	4,08	2,12	1,92	4,32
	607	472	4,80	0,71	5,51	3,16	1,74	3,92
	822	639	6,00	0,96	6,96	4,28	1,63	3,67
	1 407	1 094	9,00	1,64	10,64	7,33	1,45	3,26
	1 999	1 555	12,00	2,33	14,33	10,41	1,38	3,11
	2 667	2 074	15,00	3,11	18,11	13,89	1,30	2,93
	5 850	4 550	30,00	6,83	36,83	30,47	1,21	2,72
	9 643	7 500	47,10	11,26	58,36	50,22	1,16	2,61

Quadro III-14

Valores de Q , M_Q e coeficientes, em função de H
 para $q = 1,90$ l/s; $k_1 = k_2 = 1,50$; $v = \frac{200}{86.400}$ l/hab.seg

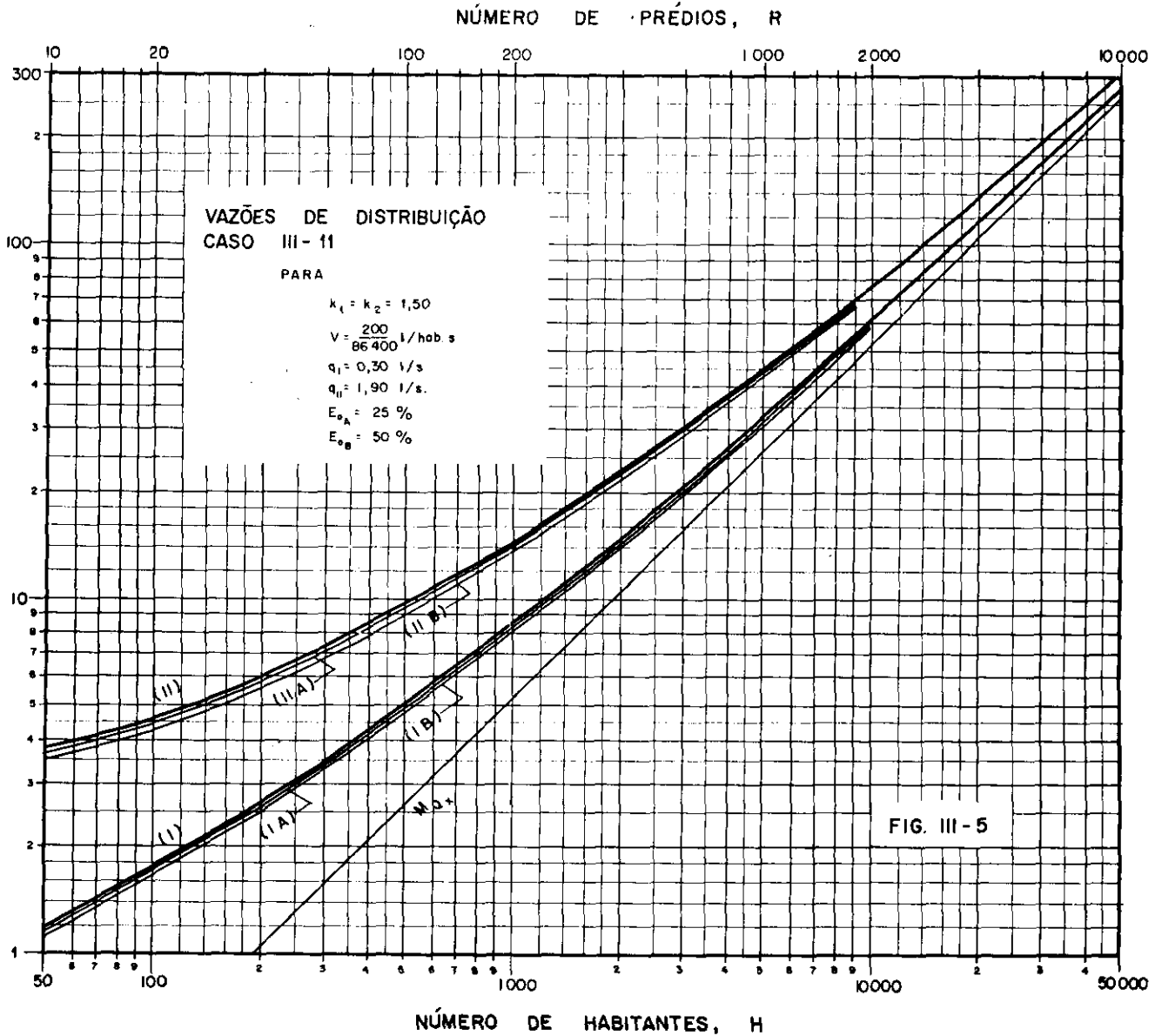
Caso Nº	H	Peças		E (l/s)	Q (l/s)	M_Q (l/s)	k_3	k_1, k_2, k_3
		Nº Eq. de H	Vazão (l/s)					
IIA	62	55	3,80	0,04	3,84	0,32	12,00	27,00
	205	182	5,70	0,12	5,82	1,07	5,44	12,24
	369	323	7,60	0,22	7,82	1,92	4,07	9,16
	533	474	9,50	0,31	9,81	2,78	3,53	7,94
	739	657	11,40	0,43	11,83	3,65	3,07	6,91
	986	876	13,30	0,58	13,88	5,14	2,70	6,08
	1 231	1 094	15,20	0,72	15,92	6,41	2,48	5,58
	1 724	1 532	19,00	1,01	20,01	8,98	2,23	5,02
	2 257	2 006	22,80	1,32	24,12	11,75	2,05	4,61
	2 791	2 481	26,60	1,63	28,23	14,54	1,94	4,37
	3 365	2 991	30,40	1,96	32,36	17,52	1,85	4,16
	4 555	4 049	38,00	2,66	40,66	23,72	1,71	3,85
	6 116	5 436	47,50	3,57	51,07	31,85	1,60	3,60
	7 797	6 931	57,00	4,55	61,55	40,61	1,52	3,42
IIB	71	55	3,80	0,08	3,88	0,37	10,49	23,60
	234	182	5,70	0,27	5,97	1,22	4,89	11,00
	422	328	7,60	0,49	8,09	2,20	3,68	8,28
	609	474	9,50	0,71	10,21	3,17	3,22	7,25
	845	657	11,40	0,99	12,39	4,40	2,82	6,35
	1 126	876	13,30	1,31	14,61	5,86	2,49	5,60
	1 407	1 094	15,20	1,64	16,84	7,33	2,30	5,18
	1 970	1 532	19,00	2,30	21,30	10,26	2,08	4,68
	2 579	2 006	22,80	3,01	25,81	13,43	1,92	4,32
	3 190	2 481	26,60	3,72	30,32	16,61	1,83	4,12
	3 846	2 991	30,40	4,49	34,89	20,03	1,74	3,92
	5 206	4 049	38,00	6,08	44,08	27,11	1,63	3,67
	6 989	5 436	47,50	8,16	55,66	36,40	1,53	3,44
	8 911	6 931	57,00	10,40	67,40	46,41	1,45	3,26

Apresentemos, nos quadros III-13 e III-14, os resultados parciais referentes às redes fictícias e os resultados finais obtidos pela soma. E, para efeito comparativo, também as vazões médias, M_Q , e os coeficientes decorrentes.

Na Fig. III-5, apresentemos as curvas (H, Q) correspondentes aos quatro casos em referência. Tracemos, também, a Curva I e a Curva II, que já haviam sido expostas na Fig. III-2, as quais constituirão dois casos particulares, onde $E_0 = 0$. Incluamos, ainda, na mesma figura a representação (R, Q), para o parâmetro:

$$h = 5 \text{ hab/prédio.}$$

VAZÃO DE DISTRIBUIÇÃO, Q (l/s)



IV — CÁLCULO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO EM REGIME DE FORNECIMENTO COM REGULARIZAÇÃO

1 — CONCEITUAÇÃO DO PROBLEMA

1.1 — Em rês sob regime de fornecimento com regularização, a vazão a ser distribuída, ordinariamente, em um instante qualquer, é constituída pelas parcelas seguintes:

- a) soma das vazões de alimentação dos reservatórios prediais que, nesse instante, não estejam cheios;
- b) soma das demandas instantâneas decorrentes de vazamentos causadores de perdas nas canalizações públicas e nas ligações prediais.

Extraordinariamente, acrescentam-se as demandas requeridas por hidrantes, demandas essas a serem computadas separadamente.

1.2 — Por razões evidentes, os fatores de utilização e os fatores de perda nas instalações prediais, examinados no Capítulo anterior, continuam a presidir, neste caso, a lei de ocorrência dos valores das vazões que são solicitadas dos reservatórios prediais. O reflexo de tais solicitações, na rede pública, irá condicionar os valores das vazões de distribuição a serem adotadas. E esse reflexo estará na dependência da capacidade regularizadora dos aludidos reservatórios.

1.3 — Para a solução do problema, deveremos, pois, analisar a atuação qualitativa e quantitativa dos reservatórios prediais, em sua ação de volante, sobre os valores das vazões de distribuição primitivas, vazões essas determinadas no Capítulo III.

Tal atuação poderá se realizar de diversas maneiras.

2 — CONDIÇÕES DE REGULARIZAÇÃO E VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO CORRESPONDENTES.

2.1 — Alimentação dos reservatórios sem limitações específicas.

2.1.1 — Neste caso, ao projetarmos a rede, suporemos fornecimento através de reservatórios prediais e não preconizaremos, especificamente, qualquer dispositivo controlador das vazões de alimentação dos referidos reservatórios.

2.1.2 — Sabemos contudo que, por motivação estranha ao critério de projeto da rede, determinadas especificações darão uma certa caracterização às canalizações alimentadoras dos reservatórios, canalizações essas, às quais, genêricamente, estamos nos referindo com o nome de ligações prediais. Em particular, sabemos que tôdas as ligações descarregarão, nos reservatórios, por meio de uma válvula de flutuador (comumente, também denominada válvula de bóia). E, mais os aspectos apresentados a seguir.

a) Em um prédio qualquer, a vazão de alimentação atingirá um máximo quando a válvula de flutuador se encontrar completamente aberta. E, tenderá a zero, à medida que a válvula fôr se fechando em conseqüência de enchimento paulatino do reservatório.

b) O valor dessa vazão máxima dependerá da carga hidráulica disponível, variando, em termos gerais, com a raiz quadrada desta. A referida carga hidráulica será dada, em primeira aproximação, pela diferença entre a cota piezométrica da rede pública, no ponto de inserção do ramal predial, e a cota topográfica do eixo da válvula de flutuador.

c) A carga hidráulica mínima, capaz de movimentar uma vazão de 1,0 litro por segundo, em uma ligação predial típica para a hipótese em consideração, com tubulação de 3/4 de polegada, poderá ser concebida conforme o Quadro IV-1.

QUADRO IV-1

M a t e r i a l	Perda de carga (m d'água)
1 Ferrule (*)	1,4
20 m Tubos f.º g.º J = 1,16 m/m(\$)	23,2
2 Registros de gav. L = 0,29 m (£)	0,3
4 Curvas 90º, raio longo L = 1,71 m (£)	2,0
1 Válvula de flutuador L = 6,40 m (&)	7,4
Soma	34,3

(*) Segundo Arnold (58, p. 746).

(\$) Fórmula de Fair-Whipple-Hsiao (34, p. 22).

(£) Comprimento equivalente (59, p. 513).

(&) Assimilada a um registro de globo aberto (59, p. 513).

Vemos que, se a válvula de flutuador estiver localizada a uns 8 metros acima do nível da canalização pública, obter-se-á a referida vazão quando a pressão dinâmica, na rede pública, fôr da ordem de 42 metros de coluna d'água. Para uma vazão de 0,50 litro por segundo, a carga hidráulica disponível deverá ser, aproximadamente:

$$34,3 \left(\frac{0,5}{1,0} \right)^2 = 8,6 \text{ m d'água}$$

e, assim, resultará, para pressão dinâmica mínima, na rede pública, cerca de 17 metros de coluna d'água.

Em um estudo minucioso sobre condições de suficiência do diâmetro de 3/4 de polegada, para ligações prediais, tendo em vista o fornecimento da vazão de 15 galões por minuto (0,95 litro por segundo), Arnold (58, p. 747) chegou às perdas de carga discriminadas no Quadro IV-2, as quais se referem a uma ligação em prédio residencial, considerada como típica da cidade de Filadelfia, com materiais novos e bem instalados. Não inclui válvula de flutuador, porque a distribuição se faz sem regularização predial.

QUADRO IV-2

M a t e r i a l	Perda de carga (m d'água)
1 Ferrule, 3/4"	1,4
1 Registro de passeio, 3/4"	1,4
18 m Tubos de cobre, 3/4", tipo K	16,9
1 Registro de globo, 3/4"	2,8
1 Hidrômetro, 5/8"	4,2
Soma	26,7

2.1.3 — Suponhamos que todos os reservatórios prediais tenham capacidade, digamos, igual ao consumo médio diário no prédio, de modo que estejam em condições volumétricas de compensar a variação máxima horária e as variações casuais. E imaginemos que, no período horário de máximo consumo, êsses volumes de compensação sejam efetivamente utilizados, por êste motivo fazendo a lâmina d'água dos reservatórios cair ao seu nível mínimo e, assim, fazendo tôdas as válvulas de flutuador se abrirem completamente.

Sob tal hipótese, partindo das fórmulas (III.7) e (III.62), chegaremos à seguinte expressão para cálculo das vazões de distribuição:

$$Q = k_1 \cdot Q_A \quad (IV.1)$$

Esta fórmula nos conduzirá a valores relativamente baixos para as vazões de dimensionamento da rede, dessa sorte propiciando canalizações de menor custo, o que decorrerá do fato de estarmos tirando partido da mencionada função regularizadora dos reservatórios. Para tanto, ao longo da rede, no decurso do dia de maior consumo, deverá pressupor uma uniforme vazão de alimentação dos reservatórios. Ou melhor, deverá pressupor que esta vazão de alimentação seja proporcional ao número de habitantes em cada prédio, permitindo calcular as vazões de distribuição através de um coeficiente de distribuição em marcha constante, se constante for a distribuição populacional.

A solução do problema hidráulico, demarcado pela pressuposição acima, implicará no dimensionamento da rede distribuidora de forma a assegurar que, na alimentação de todos os reservatórios, vigore a mesma carga hidráulica disponível. Tendo-se admitido, como é razoável, equivalência das perdas de carga nas ligações prediais. Portanto, se os prédios forem praticamente homogêneos, a condição hidráulica de projeto da rede se realizará, a partir da extremidade distribuidora de montante (reservatório público), com a adoção de perdas de carga unitárias iguais às declividades das ruas respectivas. Isto é, de forma a se estabelecerem linhas piezométricas dinâmicas guardando paralelismo com as ruas correspondentes, a uma altura constante destas. Resultará, como critério apropriado para traçado da rede, o lançamento das tubulações tronco ao longo das linhas de espigão, ficando a rede configurada como se fora um sistema de irrigação por condutos livres, todos os condutos tendo a mesma espessura de lâmina d'água. Verificaremos, pois, tratar-se de condição hidráulica baseada em especificação sobre pressão dinâmica de distribuição, a ser atendida mediante sujeição da declividade da linha piezométrica dinâmica; a velocidade de escoamento sendo uma decorrência.

2.1.4 — Consideremos, agora, que outro tenha sido o critério adotado no dimensionamento da rede. Imaginemos que se tenha seguido uma regra de escolha de diâmetro arbitrada pela injunção de que a área de cada seção de canalização seja aproximadamente proporcional ao número de habitantes abastecidos através da mesma^(*).

Suponhamos que prevalecesse, nesta rede, o estado de funcionamento descrito anteriormente, com as válvulas de flutuador completamente abertas em todos os reservatórios, por estarem êstes atuando, uniformemente, como compensadores das flutuações horárias e casuais. Sob tal hipótese, calcular as vazões de distribuição seria extremamente difícil. Pois, depararíamos com uma situação que seria como que um dos clássicos problemas dos três reservatórios (60) levado às suas últimas conseqüências: teríamos um ou mais reservatórios alimentadores (reservatórios públicos) descarregando, livremente, em centenas ou milhares de reservatórios localizados em cotas diferentes entre si. Não obstante, devido à regra seguida na escolha dos diâmetros, desde já poderemos antecipar que, em igualdade de população e distância, áreas situadas em cotas topográficas mais baixas demandariam vazões de distribuição sensivelmente maiores que áreas situadas em cotas superiores. Haveria, então, uma diferenciação nos coeficientes de distribuição em marcha.

A questão hidráulica, dessa forma delineada, nos leva a certas ponderações, sintetizadas abaixo, em face de casos que possam ser encontrados, casos êsses obviamente dependentes dos valores particulares em jôgo; especialmente, dependentes de contingências topográficas, fatores de utilização da água e fator de proporcionalidade para escolha dos diâmetros.

a) Reservatórios de prédios situados em áreas baixas, comumente não poderão exercer qualquer ação regularizadora sobre as variações horárias. Porque estarão sempre cheios ou quase cheios.

(*) Se o coeficiente de distribuição de água em marcha for constante, de modo a tornar a vazão de distribuição proporcional à população abastecida, esta exigência equivalerá à especificação de uma velocidade de escoamento praticamente constante.

b) Esses mesmos reservatórios proporcionarão uma regularização somente parcial das variações casuais do consumo. A magnitude dessa regularização dependerá de uma série de fatores, onde se distinguem: a área da superfície livre do líquido armazenado; o curso de abertura da válvula de flutuador (dependente do comprimento da haste do flutuador) em correspondência à depressão de nível no reservatório; e a carga hidráulica disponível para alimentação do reservatório. Para visualizarmos essa conjuntura, consideremos um prédio de 5 habitantes, com $k_1 = k_2 = 1,50$ e $v = \frac{200}{86\,400}$ l/hab.s. A vazão média de alimentação do reservatório, no dia e hora de máximo consumo, será:

$$M_Q = 1,50 \cdot 1,50 \cdot \frac{200}{86\,400} \cdot 5 = 0,026 \text{ l/s}$$

Suponhamos que, estando o reservatório cheio, uma torneira seja posta a funcionar, demandando 0,30 litro por segundo. O nível do reservatório começará a descer, e o prosseguirá enquanto a válvula de flutuador, parcialmente aberta, não fornecer uma vazão igual à da torneira. A rede pública será, conseqüentemente, instada a fornecer uma vazão crescente, tendente a igualar o valor 0,30 litro/segundo, ou seja, um valor mais de dez vezes superior à média supra citada. Para um dado volume de água a ser usado na operação da torneira, essa igualação se efetuará tanto mais rapidamente quanto menor fôr a área da superfície livre do líquido no reservatório e maiores forem o curso de abertura da válvula de flutuador e a carga hidráulica disponível para alimentação do reservatório. E, conforme os valores em jogo, a igualdade poderá não ser atingida. Neste caso, o reservatório terá conseguido uma atenuação no valor da vazão exigida da rede. Esta hipótese seria particularmente provável, se nos referíssemos à operação isolada de uma bacia sanitária com válvula de descarga. Em contraposição, poderíamos conceber situações mais desfavoráveis, em que, uma segunda peça de utilização entraria em funcionamento antes que a primeira terminasse a sua operação; ou, antes que o nível, no reservatório, tivesse se recuperado.

c) Demandas substanciais, superiores até mesmo à vazão máxima provável das peças de utilização presentes, poderão ser solicitadas da rede pública, no caso de fornecimento em reservatórios prediais inferiores. Isto porque, as instalações elevatórias poderão ter capacidade para esvaziamento desses reservatórios em prazo relativamente curto, colocando-os em alimentação através de válvula de flutuador totalmente aberta.

d) Uma rede de distribuição, resultante do critério de dimensionamento em consideração, poderá, eventualmente, atingir o fim a que se destina. Mas, forçoso é reconhecer, dificilmente poderemos fazer um prognóstico seguro sobre as suas verdadeiras condições hidráulicas de funcionamento, tendo em vista tirar proveito da presença dos reservatórios prediais. Outrossim, essa insegurança na predição das condições reais de escoamento tornará problemático o seu resguardo contra ocorrências momentâneas de pressões indesejáveis, sobretudo em canalizações abastecedoras de zonas periféricas onde o terreno apresente conformação topográfica anticlínea.

2.2 — Alimentação dos reservatórios com limitações específicas.

2.2.1 — Em termos ideais, poderemos imaginar a instalação de um aparelho regularizador de vazão, em cada ramal predial. Asseguraremos, à nossa vontade, uma vazão constante, quando a válvula de flutuador estiver completamente aberta, qualquer que seja a carga hidráulica (superior a um mínimo); em especial, qualquer que seja a posição topográfica do reservatório.

a) Poderemos ajustar o aparelho para uma vazão igual à demanda média do prédio no dia de maior consumo. Com este critério, calcularemos as vazões de distribuição por meio da fórmula (IV.1).

b) Poderemos calibrar o aparelho para uma vazão igual à demanda média do prédio na hora de maior consumo do dia de maior consumo. Nesta condição,

retornando às fórmulas (III.7) e (III.62), usaremos a seguinte expressão para cálculo das vazões de distribuição:

$$Q = k_1 \cdot k_2 \cdot Q_A$$

Dêste modo, as vazões de distribuição serão mais altas que no caso anterior. Mas, destinando-se somente às variações casuais, os volumes de compensação serão menores, e menos dispendiosos poderão ser os reservatórios prediais.

2.2.2 — Conquanto seja assunto que ultrapassa o âmbito da presente monografia, será oportuno deter a nossa atenção, de passagem, sobre certos dispositivos emanados da experiência, do afã que as lides diárias impõe aos que trabalham na prática.

a) A introdução de perdas de carga localizadas na rede, mediante manobras de registros estrategicamente escolhidos, constitui recurso hidráulico compreensível, visando a prevalência de cargas mais uniformes, de modo a se conseguir alimentação mais homogênea dos reservatórios prediais. Tais manobras, entretanto, podem ter efeitos sanitários danosos, porque executadas de forma difícilmente controlável, expondo a rede ao risco de pressões negativas.

b) As chamadas penas d'água, diafrágmados intercalados nos ramais prediais, se bem que descritas entre nós como recurso incipiente para controle do consumo de água, na realidade poderão constituir um razoável dispositivo prático para consecução de regularização da vazão, prevista no critério de projeto examinado em IV-2.2.1. Mórmente se lhes fôr reconhecida essa finalidade e, assim, se atentar para o seu aperfeiçoamento e para a sua devida especificação.

c) Válvulas de flutuador para reservatórios domiciliários, encontradas no comércio, usualmente têm aberturas diminutas para descarga da água. Tratam-se de orifícios ou bocais com diâmetro de 1/8 a 3/16 de polegada, capazes de oferecer elevada resistência ao escoamento. (Para a vazão de 1,0 litro/segundo, em orifício de 3/16 de polegada, a carga necessária é da ordem de 400 metros de coluna d'água). Como explicação, obtida de práticos: se a abertura fôsse maior, haveria necessidade de bóia mais volumosa, e o obturador da válvula teria de apresentar melhor qualidade em material e acabamento, para efetivamente se conseguir fechamento e vedação sob pressão de montante elevada — fatores negativos para competição comercial baseada somente em preços. As referidas válvulas, ainda que arbitrariamente, contribuem para regularização das condições hidráulicas de distribuição, embora, eventualmente, possam ser inconvenientes para os prédios situados em partes altas da rede.

d) Hidrômetros instalados nas partes baixas da rede, a par de sua valiosa função específica, contribuem positivamente para regularizar as condições hidráulicas da rede, devido à perda de carga que introduzem na ligação predial. Essa perda de carga varia, aproximadamente, na razão direta do quadrado das vazões (61, p. 10), de modo que poderá ser obtida desde que conheçamos o seu valor particular referente a uma dada vazão. Realmente, é conhecido um valor particular, uma vez que, por definição (61, p. 5), a vazão característica ou capacidade nominal de um hidrômetro é a vazão horária para a qual a perda de carga é de 10 metros de coluna d'água. Assim, hidrômetros de 3 metros cúbicos de capacidade nominal acarretam uma perda de carga de 10 m d'água, quando por eles circula uma vazão de 3 metros cúbicos por hora, ou seja, 0,83 litro por segundo. Para uma vazão de 1,0 litro/segundo, resultarão 14,4 m d'água; e, para 0,50 litro/segundo, serão 3 m d'água. Isto, quanto ao aparelho em si, em boas condições de funcionamento. Há que considerar, ademais, as peças pertinentes à sua instalação. Neste particular, e para o objetivo em foco, a eficiência poderá ser melhorada (embora seja aconselhável outra solução, menos dispendiosa) mediante a congêrie de peças assim descrita por Assis (62, p. 13): "Regulamentos de Serviços de Águas, de várias cidades de São Paulo, costumam exigir que a instalação de hidrômetros seja, obrigatoriamente, feita em "cavaletes", discriminando as seguintes peças, utilizadas nesse tipo de ligação: 1 luva + 1 arruela + 1 luva + 1 arruela + 1 pedaço de cano com 1,50 m + 1 cotovelo + 1 pedaço de cano com 0,50 m + 1 luva + 1 curva de 90° + 1 luva + 1 arruela + 1 pedaço de cano com cerca de 0,15 m + 1 registro de asa + 1 niple + 1 cotovelo + 1 pedaço de cano com 0,50 m + 1 cotovelo".

V — CÁLCULO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO EM REGIME DE FORNECIMENTO MISTO

1 — CONCEITUAÇÃO DO PROBLEMA.

Neste caso, a vazão ordinariamente exigida da rede, em um instante qualquer, é constituída pelas parcelas seguintes:

- a) soma das vazões das peças de utilização que estejam em operação no momento considerado, peças essas alimentadas diretamente pela rede pública;
- b) soma das vazões de alimentação dos reservatórios prediais que, nesse instante, não estejam cheios;
- c) soma das demandas instantâneas decorrentes de vazamentos causadores de perdas nas canalizações públicas, nas ligações prediais e nas instalações prediais diretamente alimentadas pela rede pública.

Extraordinariamente, acrescentam-se as demandas requeridas por hidrantes, demandas essas a serem computadas separadamente.

2 — HIPÓTESES DE CÁLCULO.

2.1 — Admitamos, à luz de conclusões evidenciadas no capítulo anterior, que todas as canalizações alimentadoras de reservatórios prediais sejam condicionadas, pelo menos, por dispositivo capaz de nos assegurar um prefixado limite máximo para a vazão de alimentação, no período crítico de funcionamento da rede. Entenderemos, este período crítico, como o intervalo de tempo, dentro da hora de máximo consumo, em que as demais solicitações ordinárias à rede atinjem, globalmente, o seu valor máximo provável.

2.2 — Consideremos, ainda mais, que, no mencionado período crítico, sejam independentes entre si os acontecimentos individualizados: pelo funcionamento das peças de utilização ligadas diretamente à rede; pela alimentação dos reservatórios prediais; e pelos vazamentos nas canalizações públicas, nas ligações prediais e nas instalações prediais diretamente alimentadas pela rede pública.

3 — EXPRESSÃO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO

Partindo das fórmulas (III.1) e (III.56), chegaremos à seguinte expressão generalizada:

$$Q = m \cdot q + F + E \quad (V.1)$$

onde Q é a vazão de distribuição a ser adotada para a secção em consideração; m . q é a vazão máxima provável atribuível às peças de utilização alimentadas diretamente pela rede, à jusante da secção em consideração; F é a vazão máxima préconcebida para suprimento dos reservatórios prediais situados à jusante, no período crítico; e E é a vazão devida às perdas, também à jusante da secção em exame, nas canalizações públicas, nas ligações prediais e nas peças abastecidas diretamente pela rede pública.

4 — DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES DE DISTRIBUIÇÃO.

4.1 — Em conformidade com a independência entre as parcelas figurantes no segundo membro da equação (V.1), obteremos as vazões de distribuição considerando a rede em causa como resultante da sobreposição de três redes fictícias, analisadas a seguir.

4.2 — Rêde com demandas contínuas, abastecedora de perdas.

Determinaremos, nesta rêde, a parcela E a ser aplicada na fórmula (V.1).

Podemos usar uma expressão formalmente idêntica à equação (III.61). No caso, porém, o parâmetro E_0 representará a fração da vazão média anual consumida pelas perdas, exclusiva a parte imputável às peças de utilização alimentadas pelos reservatórios prediais. Isto porque esta parte será debitada no valor de F.

4.3 — Rêde com demandas contínuas, abastecedora de reservatórios.

4.3.1 — Nesta rêde, calcularemos a parcela F, relativa à fórmula (V.1).

4.3.2 — Adotaremos, como condição mais desfavorável de cálculo, que F seja dada pela somatória das vazões de alimentação de todos os reservatórios abastecidos pela secção em consideração, estando essas vazões em seus máximos respectivos, previstos para o período crítico de funcionamento da rêde.

4.3.3 — De um modo geral, antevemos, como especificação conveniente para a vazão máxima de alimentação de cada reservatório, no aludido período crítico, a vazão média para o prédio respectivo, relativa ao dia de maior consumo. Eventualmente, a vazão média da hora de maior consumo do dia de maior consumo poderá se revelar mais adequada a certos casos.

4.3.4 — Prevêmos, por outro lado, que o condicionamento da referida vazão máxima, em geral, se fará através de um diafragma, com abertura somente calibrável por ocasião de aferições. Com êste dispositivo, a vazão máxima especificada será ajustada para a situação desta forma caracterizada:

- a) válvula de flutuador completamente aberta;
- b) rêde com pressão dinâmica mínima, pelo fato das outras solicitações estarem em seu máximo valor global, igual a $m \cdot q + E$, conforme a expressão (V.1).

Nestas condições, não deveremos perder de vista que o limite máximo, ajustado para a vazão de alimentação dos reservatórios no período crítico de funcionamento da rêde, na verdade será o valor mínimo das vazões com que aquela alimentação se efetuará, para válvula de flutuador completamente aberta. Será um fato óbvio, pois, para qualquer instante, afora o período crítico, entendemos que as demais demandas serão inferiores a $m \cdot q + E$; logo, dando margem a maiores cargas hidráulicas disponíveis. Para os nossos propósitos, não há interesse prático em se desvendarem essas cargas maiores e as conseqüentes vazões de alimentação maiores, uma vez que a situação mais desfavorável na rêde e, assim, as vazões de distribuição, serão presididas pelas condições vigentes no período crítico definido.

4.3.5 — O valor de F é peculiar a cada sistema, assumindo importância bastante diversificada, conforme as características da comunidade a ser abastecida e o critério de projeto adotado.

- a) Para uma secção genérica da rêde, poderemos escrever:

$$F = k_F \cdot F_n \cdot Q_A = k_F \cdot F_n \cdot v \cdot H \quad (V.2)$$

onde o coeficiente F_n representa a fração da vazão média anual fornecida mediante regularização; de modo que $F_n \cdot Q_A$ exprime a vazão média anual destinada à alimentação de reservatórios prediais; k_F é o coeficiente de variação para o período crítico, dependente do critério de projeto, isto é, da limitação imposta à vazão de alimentação dos reservatórios.

- b) No caso mais usual, dentro da idéia de prevenção aos reservatórios domiciliares, F se referirá ao suprimento de grandes consumidores, localizados em pontos isolados, geralmente representados por indústrias, edifícios públicos ou comerciais e prédios de apartamentos. A estimativa de seu valor resultará de inves-

tigações em cada caso, onde, preferivelmente, se incluirão inquéritos diretos junto aos consumidores pertinentes a essa categoria. Evidentemente, esse seu valor, bem como o de F_o , variará, ao longo da rede, de secção para secção.

c) Em muitos casos, porém, os citados consumidores não oferecerão uma individualização significativa, e ocorrerão de modo praticamente homogêneo, ao longo da rede. São exemplos, bairros da Capital ou cidades do interior, essencialmente residenciais, onde os consumos localizados abrangem atividades públicas, comerciais e industriais de pequeno porte, representadas por pequenos hotéis, pensões, padarias, tinturarias, escolas, cinemas e outros. Nestas circunstâncias, será possível admitir-se F_o como um coeficiente constante ao longo da rede, a ser estimado mediante investigações diretas ou por meio de comparação com casos semelhantes.

A um procedimento análogo poderemos também recorrer, em se tratando de regime de fornecimento com regularização para certos pontos de consumo de cada prédio e sem regularização para os pontos de consumo restantes.

4.4 — Rede com demandas causadas somente por peças de utilização em regime intermitente.

4.4.1 — A parcela $m \cdot q$, da fórmula (V. 1), determinaremos nesta rede, onde ficticiamente, imaginamos a existência de apenas as peças de utilização abastecidas diretamente pela rede pública.

4.4.2 — Como já vimos, a determinação de $m \cdot q$, dentro da aproximação à distribuição de Poisson, estará na dependência do conhecimento da vazão média, M_{Q_x} , a ser demandada pelas peças na hora de maior consumo do dia de maior consumo.

4.4.3. — Um primeiro processo, para a solução do problema, será o de efetuarmos uma análise específica sobre os consumidores abrangidos por esta rede. Através de amostragem direta ou por analogia com consumidores semelhantes, estimaremos os particulares valores de k_1 , k_2 e v pertinentes, especificamente, à população abastecida sem regularização de vazão. Obtidos esses parâmetros, reverteremos a análise da rede fictícia em consideração, aos procedimentos já examinados no Capítulo III. Em particular, obteremos os valores $(H, m \cdot q)$, mediante as curvas descritas em III-9 e III-10, por aplicação dos consequentes fatores de equivalência.

4.4.4 — Poderemos, também, chegar a uma solução para o problema, recorrendo às expressões gerais apresentadas em III-11.4.3-b.

Em acôrdo com V-4.3.5, poderemos escrever, nas fórmulas (III.65) e (III.66):

$$G_o = E_o + k_F \cdot F_o \quad (V.3)$$

expressão que nos conduzirá a uma estimativa de M_{Q_x} e do correspondente fator de equivalência entre habitantes, uma vez conhecidos os valores de k_1 , k_2 e v da rede original, bem como os valores das perdas e das vazões limites de alimentação dos reservatórios prediais. Tratar-se-á, no que se refere à parcela debitada aos reservatórios, de uma solução aproximada a favor da segurança, uma vez que, consoante o esclarecido em V-4.3.4, a vazão média de alimentação dos reservatórios, na hora de maior consumo do dia de maior consumo, provavelmente será maior que $k_F \cdot F_o \cdot Q_A$.

Neste particular, será conveniente termos presente o efeito a ser esperado do fornecimento mediante regularização, quanto à atenuação no valor das vazões de distribuição, para o que julgamos oportuna uma observação remissiva a III-11.4.4.

4.5 — Curvas (H, Q) e (R, Q) .

4.5.1 — Em um sistema de coordenadas (H, Q) ou (R, Q) , traçaremos as curvas relativas, respectivamente, às três redes fictícias que viemos de examinar. Obteremos a curva final, representativa das vazões de distribuição na rede original, por soma de ordenadas.

4.5.2 — Dadas as características usualmente previsíveis para o valor de F , mencionadas em V-4.3.5-b, limitado alcance prático poderemos esperar de aplicações numéricas, ilustrativas de situações particulares. Não obstante, achamos vantajoso referirmo-nos aos quatro casos apresentados em III-11.5. Naqueles casos, poderemos substituir E por G e, assim, E_0 por G_0 , entendendo G como vazão média oriunda, conjuntamente, das perdas e dos fornecimentos com regularização, fornecimentos estes dispostos homogêneamente ao longo da rede. Teremos, assim, nos quadros III-13 e III-14 e na Fig. III-5, quatro exemplos numéricos para a rede que acabamos de estudar.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- 1 — SIQUEIRA, A.: Engenharia Sanitária. 2.^a ed. Porto Alegre, Ed. Globo, 1959. Vol. I.
- 2 — ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria da Saúde Pública e da Assistência Social: Lei N.º 1561-A. São Paulo, Imprensa Oficial do Estado, 1952.
- 3 — THE INSTITUTION OF WATER ENGINEERS: Manual of British Water Supply Practice. Cambridge. W. Heffer & Sons, 1950.
- 4 — TAYLOR, D. R.: Design of Main Extensions of Small Size. Water & Sewage Works, Chicago, Jun. 15, 1956. Reference and Data Number.
- 5 — GARCIA, M. R.: Estudio sobre Dotaciones de Agua Potable. Anais do IV Congr. Interam. Eng. San., São Paulo, AIDIS, 1954.
- 6 — ASSOCIATION INTERNATIONALE DES DISTRIBUTIONS D'EAU: Calcul des Réseaux Maillés. 2.^a Congrès, Question 9, Rapport Général, Paris, 1952.
- 7 — ANDERSON, G. W.: Pressupostos Básicos de Saúde Pública. Conferência proferida, em 2 de Jun. de 1948, na Fac. Higiene Saúde Púb. Univ. São Paulo. Notas mimeografadas.
- 8 — SENE, O. P.: Saneamento Geral. Curso Normal de Higiene e Saúde Pública para Engenheiros, Fac. Hig. Saúde Púb. Univ. São Paulo. Notas de Aula (não public.), 1949.
- 9 — HANSON, R. and HUDSON JR., H. E.: Trends in Residential Water Use. Jour. AWWA, 48: 1347, Nov. 1956.
- 10 — HENDERSON, A. D.: The Lawn Sprinkling Load-Long Island, N. Y., and Levittown, Pa. Jour. AWWA, New York, 48: 361, Apr. 1956.
- 11 — HATCHER, M. P.: The Lawn Sprinkling Load-Kansas City, Mo. Jour. AWWA, New York, 48: 373, Apr. 1956.
- 12 — HATCHER, M. P.: High Demand Restriction at Kansas, Mo. Jour. AWWA, New York, 49: 705, Jun. 1957.
- 13 — TANGHE, E. F.: The Lawn Sprinkling Load-Milwaukee, Wis. Jour. AWWA, New York, 48: 376, Apr. 1956.
- 14 — AWWA, Committee Report: Charges for Residential Air Conditioning. Jour. AWWA, New York, 47: 1088, Nov. 1955.
- 15 — BERRY, T. V.: Distribution to Suburban Vancouver Areas. Jour. AWWA, New York, 48: 179, Feb. 1956.
- 16 — STOCKWELL, H. P.: Water Supply for Suburban Ottawa. Jour. AWWA, New York, 48: 193, Feb. 1956.
- 17 — AWWA, COMMITTEE REPORT: Trends in Air-Conditioning Use and Regulation. Jour. AWWA, New York, 50: 75, Jan. 1958.
- 18 — BRASIL. GABINETE CIVIL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA: Financiamento de Serviços Municipais de Abastecimento de Água — Relatório da Comissão Incumbida de Elaborar o Plano do Governo Federal. Rio de Janeiro, Departamento de Imprensa Nacional, 1953.
- 19 — TAMEIRÃO, H. P.: Inquérito sobre o Saneamento das Cidades do Estado de São Paulo — Águas e Esgotos. Arq. Fac. Hig. Saúde Púb. Univ. São Paulo, 18: 121, Jun. 1953.
- 20 — ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria da Viação e Obras Públicas. D. A. E. — C. P. G. A.: Relatório Final dos Estudos Realizados para o Abastecimento da Área Metropolitana de São Paulo. Rev. do Depart. de Águas e Esgotos, São Paulo, 19: 19, Dez. 1958.

- 21 — I. B. G. E. — Conselho Nacional de Estatística: Censo Demográfico (1.º de Julho de 1950). Estados Unidos do Brasil. Seleção dos Principais Dados. Rio de Janeiro, I. B. G. E., 1953.
- 22 — BLAKE, N. M.: Water for Cities. Syracuse, N. Y., Syracuse University Press, 1956.
- 23 — NICHOLS, R. F., BAGLEY, W. e BEARD, C. A.: Os Estados Unidos de Ontem e de Hoje. Trad. de Carlos Lacerda e F. Tude de Sousa. São Paulo. Comp. Editôra Nacional, 1944.
- 24 — MOOG, V.: Bandeirantes e Pioneiros. 2.º Ed. Porto Alegre, Ed. Globo, 1955.
- 25 — BRAUN, P. J.: Fire Insurance Rating. Jour. AWWA, New York, **46**: 822, Aug. 1954.
- 26 — NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION: NFPA — Handbook of Fire Protection. 11.º Ed. Boston, N. F. P. A., 1954.
- 27 — BRAIDECHE, M. M.: Controlling Industrial Fire Hazards. Jour. AWWA, New York, **40**: 927, Sept. 1948.
- 28 — BRUNO, E. S.: História e Tradições da Cidade de São Paulo. Rio de Janeiro, Liv. José Olympio Ed., 1954.
- 29 — I. B. G. E. — Conselho Nacional de Estatística: Anuário Estatístico do Brasil — 1959. Rio de Janeiro, I. B. G. E., 1959.
- 30 — ESTADO DE SÃO PAULO. Departamento de Estatística do Estado: Anuário — 1958. São Paulo, Serviço Gráfico do D. E. E., 1960.
- 31 — INSTITUTO DE RESSEGUROS DO BRASIL: Tarifa de Seguro — Incêndio do Brasil, Publicação n.º 49 — I. R. B., 4.ª Ed., Rio de Janeiro, 1960.
- 32 — BERTOCHÉ FILHO, A., ARTAMENDE, J. B. M. e PIAZZA, F. N.: A Proteção Contra Incêndio no Planejamento das Construções. Rio de Janeiro, Ajax, Corretores de Seguros S. A. — Depart. de Engenharia de Prevenção, 1957.
- 33 — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Normas Brasileiras. Rio de Janeiro, A. B. N. T., 1953.
- 34 — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: Instalações Prediais de Água Fria, P-NB-92. Bol. A. B. N. T., Rio de Janeiro, **43**, Mar./Abr., 1959.
- 35 — ESTADO DE SÃO PAULO. Secretaria da Viação e Obras Públicas: Decr. 35 332 de 11 de Agosto de 1959 — Aprova Regulamento para Execução das Instalações Prediais de Águas e Esgotos Sanitários, na Capital. Rev. do Depart. de Águas e Esgotos, São Paulo, **20**: 69, Out. 1959.
- 36 — GEVAUDAN, P. et GAY, R.: Enquête sur un Moyen Archaïque de Distribution d'Eau de Consommation. Revue d'Hygiène et de Médecine Sociale, Paris, **5**: 190, Mars-Avril, 1957.
- 37 — GALLIZIO, A.: Impianti Sanitari. 2.ª Ed. Milano, Ed. Ulrico Hoepli, 1949.
- 38 — MISTRANGELO, C.: Provvista e Distribuzione di Acqua Potabile. 4.ª Ed. Milano, Ed. Ulrico Hoepli, 1945.
- 39 — ESCRITT, L. B.: Building Sanitation. London, Macdonald & Evans, 1953.
- 40 — FRY, T. C.: Probability and its Engineering Uses. New York. D. van Nostrand Co., 1928.
- 41 — HALD, A.: Statistical Theory with Engineering Applications. New York, John Wiley & Sons, 1952.
- 42 — YULE, G. U. and KENDALL, M. G.: An Introduction to the Theory of Statistics. 14.ª Ed., London, Charles Griffin & Co., 1958.
- 43 — ARKIN, H. and COLTON, R. R.: An Outline of Statistical Methods. 4.ª Ed. New York, Barnes & Nobles, 1950.
- 44 — HOEL, P. G.: Introduction to Mathematical Statistics. New York, John Wiley & Sons, 1947.
- 45 — HUNTER, R. B.: Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems. U. S. Department of Commerce. National Bureau of Standards. Report BMS65, Washington, D. C., 1940.

- 46 — NATIONAL BUREAU OF STANDARDS: Plumbing Manual. U. S. Department of Commerce. National Bureau of Standards. Report BMS 66. Washington, D. C., 1940.
- 47 — BOLANT, R.: Recherches des Débits Admissibles dans les Canalizations par le Calcul des Probabilités. La Houille Blanche, Paris, Mai-Jun. 1949.
- 48 — CARVALHO, P. E. e LESER, W. P.: Metodologia Estatística. São Paulo, Departamento de Cultura, 1938. 2.º Vol.
- 49 — MANAS, V. T.: National Plumbing Code Handbook. New York, McGraw-Hill Book Co., 1957.
- 50 — MATSON, T. M., SMITH, W. S. and HURD, F. W.: Traffic Engineering. New York, McGraw-Hill Book Co., 1955.
- 51 — MOLINA, E. C.: Poisson's Exponential Binomial Limit. New York, D. van Nostrand Co., 1942.
- 52 — NATIONAL BUREAU OF STANDARDS: Tables of the Binomial Probability Distribution. Washington, D. C., U. S. Government Printing Office, 1949.
- 53 — ROMIG, H. G.: 50-100 Binomial Tables. New York, John Wiley & Sons, 1953.
- 54 — FLORES, J. O. M.: Hidráulica (Abastecimento de Água). Rio de Janeiro. Escola Nacional de Engenharia, 1953. Notas de Aulas, Publicação Organizada por Kaufman e Griner.
- 55 — AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION: Tentative Standard Specifications for Installation of Cast-Iron Water Mains: AWWA C600-49T. New York, American Water Works Association, 1954.
- 56 — QUENEAU, R. B. e BENEVELLI, L. B.: Los Estudios Pitométricos y el Control Técnico de los Sistemas de Abastecimiento de Agua. Ingenieria Sanitaria — Rev. AIDIS, México D. F., 13: 33, Julio 1959.
- 57 — ASSIS, O. P. e VICTORETTI, B. A.: Serviço de Contrôl na Medição de Água. Anais do IV Congr. Interam. Eng. San., São Paulo, AIDIS, 1954.
- 58 — ARNOLD, G. E.: Friction Losses in Service Lines and Fittings. Jour. AWWA, New York, 48: 744, Jun. 1956.
- 59 — CRANE: Catalog n.º 49. Chicago, Crane Co., 1949.
- 60 — GARCEZ, L. N.: Curso de Hidráulica. São Paulo, Escola Politécnica da Univ. de São Paulo, 1946.
- 61 — ASSIS, O. P.: Escolha e Instalação de Hidrômetros. Publicações S. A. T. H. — Serviço de Assistência Técnica a Hidrômetros, São Paulo, 06-3, Dez., 1945.
- 62 — ASSIS, O. P.: Supressão do Racionamento de Água em São João da Boa Vista. Publicações S. A. T. H. — Serviço de Assistência Técnica a Hidrômetros. São Paulo. 06-5, Março, 1950.

SÍMBOLOS USADOS

(em nossa formulação)

a	— valor de M_x , na tabela de Molina, para um dado m .
b	— fração de M_{Q_x} , atribuível a tipo II.
c	— desvio de m , a partir de M_x , na curva normal.
C_x^n	— combinação de n , x a x .
d_i	— diâmetro dos ramais prediais, no trecho i .
D_i	— diâmetro da rêde, no trecho i .
E	— vazão na secção genérica, causada pelas perdas à jusante.
$E_{I'}$, $E_{I''}$ e E_s	— parcelas de E , pertinentes à rêde públ., ramais prediais e instal. pred., respect.
E_{o_p} , E_{o_R} e E_{o_S}	— perdas específicas, relativas à $E_{I'}$, $E_{I''}$ e E_s , respect.
E_o	— fração da vazão média anual, consumida pelas perdas.
F	— vazão na secção genér., para aliment. dos reserv. à jus., máx. regulada para o período crítico.
F_o	— fração da vazão média anual, fornecida mediante regularização.
f	— fator de equiparação entre peças.
F_{I_1} e F_{I_2}	— fator de equivalência entre habitantes e prédios, respect.
G	— vazão na secção genér., média na hora de máx., oriunda de demandas contínuas à jus.
G_o	— fração da vazão média anual, abrangida por G .
h	— número médio de habitantes por prédio.
h'	— valor de h , em uma situação diferente.
H	— número de habitantes abastecidos pela secção genér.
H'	— valor de H , em uma situação diferente.
i	— Índice denotando o número de ordem, em grandezas congêneres.
j_i	— número de juntas por unid. de compr., no trecho i .
k_1 e k_2	— coef. para o dia e hora de máx. consumo, respect.
k'_1 e k'_2	— valores de k_1 e k_2 , em situação diferente.
k_3	— coef. para o intervalo de tempo casual de máx. consumo.
k_E	— coef. para a hora de perdas mínimas.
k_F	— coef. de F , para o período crítico.
l_i	— extensão de ramal predial, por prédio, no trecho i .
L_i	— extensão de rêde, no trecho i .
m	— número máx. provável de peças em uso simultâneo, dentre n .
m'	— qualquer par de valores (m_I , m_{II}), satisfazendo a condição de máxima probabil. de uso simultâneo.
M_x	— média verdadeira de x .
M_{Q_x}	— média verdadeira de Q_x .
M_Q	— média verdadeira da vazão na secção genér., na hora de máx., em rêde contendo demandas contínuas.
M_{x_1} , M_{x_2} , ... M_{x_i}	— médias verdadeiras de x_1 , x_2 , ... x_i , respect.
$M_{x_{I_1}}$, $M_{x_{I_2}}$, ... $M_{x_{I_i}}$	— médias verdad. de x_{I_1} , x_{I_2} , ... x_{I_i} , respect.
n	— número de peças suscetíveis de uso, à jus. da secção genér.
n_o	— valor de n suficientemente grande
n_1 , n_2 , ... n_i	— valores parciais de n , relativos a peças de mesmo tipo e com categoria de ordem 1, 2 ... i , respect.

$n_{I_1}, n_{I_2}, \dots, n_{I_i}$	— Valores parciais de n_I , relativos a peças com categoria de ordem 1, 2, ... i, respect.
n'	— número de peças equiparável a n .
N	— número médio de peças, por prédio.
N_i	— valor de N relativo ao trecho i .
p	— probabilidade de uma peça se encontrar em operação, num instante casual.
p_1, p_2, \dots, p_i	— valores de p relativos às peças com categoria de ordem 1, 2, ... i, respect.
$p_{I_1}, p_{I_2}, \dots, p_{I_i}$	— valores de p relativos às peças de tipo I, com categoria de ordem 1, 2, ... i, respect.
p_0	— média de p_1, p_2, \dots, p_i .
p_{I_0}	— média de $p_{I_1}, p_{I_2}, \dots, p_{I_i}$.
p'	— valor de p , em uma situação diferente.
p_x''	— probabilidade de x sucessos, em n eventos.
P_i	— pressão interna efetiva, no trecho i , na hora de máximo consumo.
q	— vazão de operação de uma peça de utilização.
Q	— vazão de distribuição, relativa à secção genérica.
Q_A	— vazão média anual, relativa à secção genérica.
Q_x	— vazão na secção genér., causada por x peças em uso simultâneo.
\bar{Q}_x	— média observada de Q_x .
Q'	— vazão na secção genér., causada por m' .
R	— número de prédios (economias) abastecidos pela secção genér.
R_i	— número de prédios abastecidos no trecho i .
t	— duração média de operação de uma peça.
T	— período médio de operação de uma peça.
v	— vazão média anual, demandada por habitante.
v'	— valor de v , em uma situação diferente.
x	— número de peças em func. simult., dentre n , num instante casual.
x_1, x_2, \dots, x_i	— valores parciais de x , relativos às peças com categoria de ordem 1, 2, ... i, respect.
$x_{I_1}, x_{I_2}, \dots, x_{I_i}$	— Valores parciais de x_I , relativos às peças com categ. de ordem 1, 2, ... i, respect.
\bar{x}	— média observada de x .
σ_x	— desvio padrão verdadeiro de x .
$\sigma_{x_1}^2, \sigma_{x_2}^2, \dots, \sigma_{x_i}^2$	— variância de x_1, x_2, \dots, x_i , respect.
$\sigma_{x_{I_1}}^2, \sigma_{x_{I_2}}^2, \dots, \sigma_{x_{I_i}}^2$	— variância de $x_{I_1}, x_{I_2}, \dots, x_{I_i}$, respect.
σ_p	— desvio padrão de p_1, p_2, \dots, p_i , em relação a p_0 .
σ_{Ip}	— desvio padrão de $p_{I_1}, p_{I_2}, \dots, p_{I_i}$, em relação a p_{I_0} .

OBSERVAÇÕES:

- 1) Os índices I e II denotam peças de tipos I e II, respectivamente.
- 2) Para as unidades de medida, foram usados os símbolos preconizados pela Legislação Metrológica Brasileira.