
Reajustamento dos Parâmetros de Cálculo do Escoamento Sanitário Predial

Eng.º EUGÊNIO SILVEIRA DE MACEDO

1 — INTRODUÇÃO

A considerável experiência de mais de um século em projetos, construção, manutenção e controle de funcionamento de instalações prediais de esgotos sanitários obtida pela CEDAE e através dos seus Órgãos predecessores conflita com a tecnologia estabelecida pelo Novo Código

de Instalações Prediais, em face das suas incoerências próprias, e com as normas tradicionais que a longa prática rotineira sempre comprovou satisfatórias.

Observa-se, por exemplo, que é comum o coletor de um dado prédio, projetado segundo aquelas novas normas, apresentar uma seção de vazão igual ou até maior do que a do próprio coletor público que o recebe e que oferece bom escoamento ao efluente deste e de inúmeros outros prédios de mesmo porte a montante.

Este evidente exagero na seção do coletor predial tanto onera a construção como a manutenção, porque

torna exígua a altura molhada, dificultando a auto-limpeza.

O presente trabalho visa ao ajustamento racional, com apoio em medições diretas em coletores prediais, de uma função com parâmetros mais práticos e que melhor represente o real comportamento das vazões de esgoto nas canalizações dos prédios, obedientes estas às condições técnicas de auto-limpeza permanente e suficiência de seção, tudo em perfeita coerência com o ajustamento das vazões e a tecnologia de projeto de coletor público propostos pelo autor em trabalhos anteriores (2) (3) (4) e que fazem parte das atuais Normas Brasileiras.

(*) Trabalho apresentado no X Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, realizado em Manaus, 21 a 26 de janeiro de 1979.

2 — FUNÇÃO DE VARIAÇÃO DAS VAZÕES

A vazão no coletor resulta da contribuição simultânea de um dado número de peças do sistema de suprimento d'água no prédio.

A vazão máxima não decorre, porém, da operação de todas as peças do mesmo tempo porque a probabilidade deste acontecimento num grande grupo é praticamente nula.

A vazão máxima é regulada pela disponibilidade de aparelhos, pelos seus intervalos habituais de utilização que variam no decorrer do dia, pela vazão e pelo tempo de operação típicos de cada peça.

A frequência de operação do aparelho durante cada intervalo habitual de utilização ao longo do dia constitui o fator de uso, que associado à vazão típica representa o poder efetivo de contribuição da peça em cada hora.

O máximo fator de uso de todas as peças não ocorre simultaneamente num mesmo período. Assim, a utilização máxima das peças de consumo doméstico, como a pia de cozinha, não coincide com aquela das de uso pessoal, como o vaso sanitário.

No estudo da vazão máxima do hidrograma diário é de interesse, portanto, estabelecerem-se as relações entre os poderes de contribuição de cada peça do conjunto na hora em que este pico do hidrograma ocorre, isto é, o peso relativo de cada peça na vazão total de pico, embora para algumas o seu poder de contribuição não seja o máximo nesta hora.

O peso de cada uma das peças na vazão total de um conjunto heterogêneo deve, portanto, ser função de um certo fator de contribuição simultânea, regulado pelos diferentes intervalos "T" de utilização satisfatória, bem como pelas vazões "q" e pelos tempos "t" de operação típicos ou usuais de cada aparelho.

Por exemplo, em média, a descarga de um vaso sanitário é $q = 1,7$ l/s e dura $t = 9$ segundos, enquanto a do chuveiro é apenas 0,15 l/s durante, porém, 360 segundos, sendo que a utilização satisfatória de ambos demanda um intervalo mínimo "T" = 1.140 segundos de ocupação do banheiro.

Embora a duração do período "T" varie em obediência ao uso habitual da peça ao longo do dia, pode admitir-se, todavia, como puramente aleatória a contribuição da peça durante cada período "T" e, portanto, aplicar a teoria da probabilidade para a definição do fator de contribuição simultânea que determina o peso de cada peça na vazão de um grande conjunto, como o fez Roy B. Hunter (Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems).

Os poderes de contribuição dos aparelhos em cada hora admitem-se, pois, resultantes das probabilidades

$$\text{simples } p = \frac{t}{T}$$

les associadas às suas respectivas descargas características "q", segundo uma dada função de contribuição simultânea máxima provável no conjunto.

Tal função correlacionará o número total "n" de um grupo de peças de mesma natureza com o número "m" delas em provável utilização máxima simultânea ou com a sua consequente vazão "mq". A escolha do termo de máxima utilização será discutida mais adiante, ao tratar-se do limite "L" da série de probabilidade. A descarga máxima provável das "n" peças do grupo homogêneo em causa durante o período será então "mq".

O peso de contribuição de cada uma peça de cada diferente grupo homogêneo de aparelhos na produção de uma mesma vazão é inversamente proporcional ao número de peças do grupo respectivo. As proporções dos pesos de contribuição dos diferentes aparelhos entre si, no âmbito das funções de probabilidade que as estabelecem, mantêm-se aproximadamente constantes, quaisquer que sejam as vazões de contribuição simultânea em comum dos seus respectivos grupos.

Com base nestas propriedades, Hunter adotou um sistema de unidades de peso para designar numericamente o poder de contribuição de cada conjunto de aparelhos heterogêneos em uso durante o intervalo de máximo consumo.

Na investigação das funções mais adequadas para representar o crescimento das vazões "Q", resultantes da utilização aleatória de grandes conjuntos de aparelhos, com os seus respectivos números totais "n", foi lícito a Hunter aplicar o cálculo de probabilidade adiante resumido.

Suponha-se um sistema ideal em que só contribuam aparelhos de uma mesma espécie, por exemplo, um conjunto de vasos sanitários. Seja "T" o intervalo médio, em segundos, entre duas utilizações sucessivas de cada aparelho. Seja "t" a duração média, em segundos, da efetiva contribuição do vaso para a rede.

A probabilidade que um determinado vaso tem de contribuir em qualquer instante escolhido é:

$$p = \frac{t}{T} \quad (1)$$

A probabilidade de este determinado ou qualquer outro determinado não estarem contribuindo é:

$$1 - p \quad (2)$$

O que os outros $n - 1$ aparelhos estejam fazendo no instante acima nada tem a ver com as probabilidades (1) ou (2).

A probabilidade de dois determinados vasos sanitários contribuirem em certo instante é, segundo a lei dos eventos compostos:

$$p^2 \quad (3)$$

porque a probabilidade do segundo é a mesma p do primeiro.

A probabilidade de os outros $n - 2$ aparelhos não estarem contribuindo é:

$$(1 - p)^{n-2} \quad (4)$$

Então a probabilidade de dois determinandos mas nenhum outro funcionarem em certo instante é o evento composto (4) x (3)

$$P = (1 - p)^{n-2} p^2$$

A probabilidade de quaisquer dois vasos sanitários mas nenhum dos outros $n - 2$ estarem contribuindo em determinado instante será tantas vezes P quantas forem as combinações simples de n vasos sanitários, tomados em grupos de 2:

$$P_n^2 = C_n^2 (1 - p)^{n-2} p^2 \quad (5)$$

Donde a expressão geral:

$$P_n^r = C_n^r (1 - p)^{n-r} p^r \quad (6)$$

que é a probabilidade de r quaisquer, mas nenhum dos outros vasos sanitários de um total de n , estarem em funcionamento em determinado instante. Esta expressão representa o termo geral do desenvolvimento binominal.

O critério de Hunter para um sistema funcionar satisfatoriamente é que este supra a demanda simultânea de m vasos de um total de n , de tal modo que mais de m vasos não estarão, provavelmente, em funcionamento simultâneo mais do que 1% do tempo.

Esta condição traduz-se por

$$P_n^0 + P_n^1 + P_n^2 + P_n^m \geq 0,99 \quad (7)$$

ou de outra forma:

$$\sum_{r=m}^n C_n^r (1 - p)^{n-r} p^r \leq 0,01 \quad (8)$$

"m", que é o número de peças procurado, será o menor inteiro para o qual a primeira destas duas expressões é verdadeira.

Assim, num total de "n" vasos em utilização, o maior número deles em efetiva contribuição simultânea durante 99% do tempo será, provavelmente, "m".

Esta expressão gera as funções que relacionam as descargas prováveis "mq" às suas respectivas quantidades "n" de peças disponíveis de cada diferente grupo homogêneo, definidas por suas probabilidades sim

ples de utilização $p = \frac{t}{T}$ e a correspondente vazão característica de cada peça.

3 — UNIDADES HUNTER DE PESO

Para definir os pontos da sua função de probabilidade $f(n, m, p)$, Hunter calculou para cada grupo de "n" peças de mesma natureza o menor número "m" delas cuja soma de probabilidades $\sum_{n=0}^m p_n$ iguala ou excede 99%. De maneira mais rápida, com uma tabela de probabilidades, "m" resulta da condição de que seja o menor número de peças cuja soma das probabilidades $\sum_{n=0}^{m+1} p_n$ não exceda 1%.

Em síntese, pelo critério de máxima utilização de Hunter, um número de peças superior a "m" não estará provavelmente em funcionamento simultâneo durante intervalos que totalizam mais do que o limite $L = 1\%$ do tempo.

A série binominal pode ser substituída pela de Poisson, cujos termos são mais fáceis de obter e que dela se aproxima satisfatoriamente no presente caso, onde "n" é grande, $p < 1,15$ sendo então as funções $f(n, m, p)$ para cada limite "L" definidas pela condição geral:

$$\sum_{x=m}^{x=n} \frac{(pn)^x}{x!} e^{-pn} \leq$$

$$L < \sum_{x=m-1}^{x=n} \frac{(pn)^x}{x!} e^{-pn}$$

O autor publicou, (3) e (4), a tabela de "m" correspondente a valores inteiros de "pn" para limites $L=1\%, 2\%, 3\%, 5\%, 7\%, 10\%, 15\%, 20\%$ e 25% , aqui parcialmente reproduzida:

L%				L%				L%			
1%	5%	10%	10%	1%	5%	10%	10%	1%	5%	10%	10%
pn	m	m	m	pn	m	m	m	pn	m	m	m
1	4	3	—	13	22	—	18	25	38	34	32
2	6	5	4	14	23	21	19	30	43	40	37
3	8	6	5	15	25	22	20	35	49	45	43
4	9	8	7	16	26	23	21	40	55	51	48
5	11	9	8	17	27	24	22	45	61	57	54
6	12	11	9	18	29	26	24	50	67	62	60
7	14	12	—	19	30	27	25	60	78	73	70
8	15	13	11	20	31	28	26	70	91	84	81
9	17	—	13	21	33	29	27	80	101	95	92
10	18	16	14	22	34	30	28	90	113	106	102
11	19	17	—	23	35	32	29	100	124	117	113
12	21	18	17	24	37	33	31				

No traçado da curva de crescimento das descargas máximas "mq" dos conjuntos de vasos sanitários com os seus respectivos totais "n" de aparelhos disponíveis, Hunter selecionou, em suas investigações, pe

ças sob condições excepcionais de máxima utilização, como os WC de estações de passageiros, de que resultaram os valores: $T = 300s$ (intervalo médio entre duas descargas sucessivas)

$$t = 9s \text{ (duração média da descarga)}$$

$$p = \frac{t}{T} = 0,03 \text{ (probabilidade simples)}$$

$$q = 1,7 \text{ l/s} = \text{(vazão média da descarga)}$$

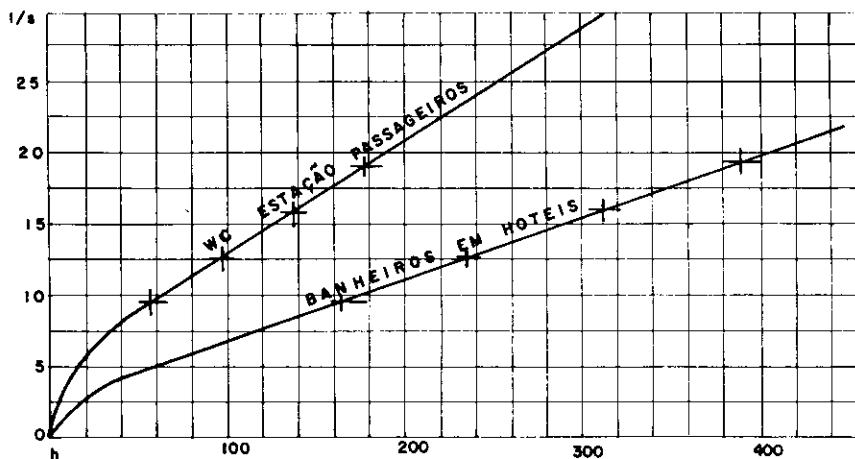
e determinou o número máximo de peças em operação simultânea provável em 99% do tempo, estendendo o mesmo critério de consumo cerrado para estabelecer a função de probabilidade de cada um dos demais aparelhos diferentes em uso.

Assim, por exemplo, utilizando as curvas de WC em estações de passageiros e banheiras em hotéis, em horas de máxima utilização, para a vazão de 9,5 l/s encontrou 57 vasos com válvula de descarga e 164 banheiras.

Traçada cada uma das curvas de crescimento das vazões com o número de peças em utilização, Hunter verificou quantas de cada natureza seriam necessárias para produzir uma mesma vazão Q.

Atribuindo arbitrariamente 10 unidades para o vaso obtém-se para a banheira $10 \times 57 = 3,48$ unidades.

164



Numa série de quatro determinações:

Vazão 1/s	WC		Banheira		Total (fxn) de unidades	
	n	peso	n	peso	WC	banheiras
9,5	57	10	164	3,48	570	656
12,5	97	10	234	4,15	970	936
15,8	138	10	310	4,45	1.380	1.240
18,9	178	10	393	4,53	1.780	1.572
Peso médio		10	—	4,15		
Valor adotado		10	—	4		

Em face do grau de impressão do processo, Hunter optou pela simplicidade, adotando o número inteiro mais próximo da média achada para designar o peso de cada peça.

A curva geral de projeto, relacionando o total de unidades "fn" dos conjuntos heterogêneos de peças à sua vazão máxima provável, foi ajustada por Hunter aos dados obtidos da forma indicada.

Em verdade, a curva do crescimento das vazões dos conjuntos de vasos sanitários com os seus respectivos totais de unidades de peso pode, em face da mesma imprecisão do processo, representar a curva geral de projeto, com maior facilidade de traçado.

Pelo que ficou exposto, torna-se claro que as unidades de peso Hunter não significam vazão, mas simples números que expressam o efeito de peso relativo de cada peça na provável vazão total de um conjunto.

Define-se, portanto, a Unidade Hunter como um fator probabilístico numérico que representa o poder relativo de contribuição de cada uma das diferentes peças de um conjunto de aparelhos heterogêneos, em funcionamento simultâneo em hora de utilização máxima.

Ou de forma mais explícita:

Unidade Hunter de Contribuição (UHC) — É um fator probabilístico numérico que representa a frequência habitual de utilização, associada à vazão típica, de cada uma das diferentes peças de um conjunto de aparelhos heterogêneos em funcionamento simultâneo, em hora de contribuição máxima no hidrograma diário.

O seu valor corresponde a 1/10 do atribuído ao poder de contribuição do vaso sanitário residencial.

4 — COMPORTAMENTO DAS VAZÕES NO COLETOR

4.1 — Conformação do fluxo

A metamorfose do hidrograma ao longo do conduto decorre principalmente:

4.1.1. — Da defasagem progressiva das suas descargas componentes, cujas velocidades variam continuamente e na proporção das vazões respectivas, resultando no avanço do pico;

4.1.2 — Do balanço dos volumes em cada trecho do conduto. A elevação do nível d'água necessária ao tirante compatível com o escoamento das descargas crescentes de montante, bem como das cunhas de remanso provocadas pelas elevações do nível a jusante determinam um acréscimo do volume retido no trecho; a vazão deste reduz-se de uma

parcela equivalente a tal retenção. Quando as descargas afluentes ou o nível d'água a jusante diminuem, a vazão do trecho é paulatinamente acrescida pelo escoamento dos volumes retidos.

Quanto mais curta a duração da onda, mais acentuado é o seu amortecimento, como a seguir se demonstra. Um trecho de conduto pode ser tido como um reservatório cuja capacidade é função da descarga na sua extremidade de jusante. Numa primeira aproximação, desprezados os efeitos dinâmicos e suposto o regime permanente durante o intervalo finito Δt limitado pelos instantes n e $n + 1$, o volume retido no trecho durante este intervalo traduz-se pela equação:

$$V_{n+1} - V_n = A_m \cdot \Delta t - \frac{E_n + E_{n+1}}{2} \Delta t \quad (1)$$

V_n = volume d'água no trecho, no instante n .

A_m = vazão média afluente durante Δt .

E_n = vazão que sai do trecho no instante n .

Esta equação se transforma em:

$$\frac{V_{n+1}}{\Delta t} + \frac{E_{n+1}}{2} = \frac{V_n}{\Delta t} - \frac{E_n}{2} + A_m \quad (2)$$

Como Δt iguala o tempo médio do percurso ideal de E_n , admitindo o regime permanente durante este intervalo, a equação (2) poderá ser substituída por esta que dela muito se aproxima:

$$\frac{E_{n+1}}{2} = \frac{E_n}{2} + A_m \quad (3)$$

donde:

$$E_{n+1} = \frac{2}{3} \left(\frac{E_n}{2} + A_m \right) \quad (4)$$

Quando a vazão média afluente A_m for maior do que a de regime no trecho, no instante n , sendo "q" a diferença, isto é:

$E_n = A_m - q$, então a eq (4) transforma-se em

$$E_{n+1} = \frac{A_m - q}{3} \quad (5)$$

significando isto que a vazão afluente deverá sofrer um amortecimento da ordem de um terço da sua diferença para a descarga primitiva nesse trecho.

É óbvio que Δt não pode ser maior que a duração de A_m e, também, que o comprimento do trecho deverá igualar aproximadamente a extensão percorrida por E_n ou E_{n+1} durante Δt . Portanto, quando a onda afluente é de muito curta duração, o amortecimento assinalado em (5) reitera-se sucessivamente através de trechos também muito curtos, o que determina a completa absorção da onda, após um pequeno percurso no conduto.

Hunter estudou o comportamento geral da onda no coletor, em testes efetuados no National Bureau of Standards, sobre a capacidade dos condutos horizontais em transportar vazões flutuantes. Verificou que a capacidade do conduto será tanto maior quanto menor for a duração da onda, mas que o efeito desta duração sobre aquela capacidade é menor para as maiores declividades, pois nestas, à medida em que as velocidades crescem, a redução do pico faz-se mais lenta.

A onda de máximo é acentuada pela descarga de vasos sanitários, de grande intensidade e curta duração. Esta duração é mínima nos ramos iniciais e cresce com a distância do percurso. O achatamento progressivo da onda acompanha o aumento da sua duração, a qual cresce com o aumento da carga, do diâmetro do coletor e com a distância do tubo de queda.

Conforme estabeleceu Hunter nas suas investigações, a onda de curta duração sobre um achatamento inversamente proporcional à sua velocidade média; quanto maior a declividade do conduto, menor o amortecimento relativo da onda. Assim, no ramal de saída do vaso e no tubo de queda, o amortecimento é pequeno; mas ao longo do coletor predial o amortecimento assim como a duração da onda é considerável e cresce com a redução da declividade e na proporção da extensão e do diâmetro do conduto.

Como a onda de curta duração, de pico mais pronunciado, desloca-se mais rápida do que uma mais longa, uma dada seção do conduto oferece maior vazão para a onda de mais curta duração.

Em suma, para a mesma altura molhada, quanto mais curta é a onda, maior a vazão que o conduto transporta.

Hunter concluiu então que não se aplicam as equações usuais para o regime permanente uniforme no caso do escoamento das ondas intermitentes, embora elas sirvam para uma verificação grosseira dos valores obtidos pelos métodos mais complicados de cálculo em regime de ondas, sobretudo em declividades e seções relativamente grandes.

Ele obteve os hidrogramas das descargas de um vaso sanitário ao longo de um coletor de 100 mm na origem e nas distâncias 3,3 m — 6,5 m e 13 m da origem. Determinou um achatamento na onda de cerca de 2% cada 3 m num tubo de queda de 100 mm, cujo diâmetro parece, porém, ter pouca influência neste número, assim como constatou a redução do pico ao longo dos coletores de 100 mm a 150 mm em cerca de 3% por metro de percurso.

Como resultado de suas pesquisas, ele traçou também as curvas relacionando as vazões de onda e os diâmetros dos condutores livres a plena seção em cada declividade, bem como as respectivas curvas do escoamento em regime uniforme assintóticas àquelas, mostrando que a capacidade do conduto é maior para o fluxo de onda do que para em regime permanente, tendendo para este com o progressivo achatamento da onda.

5 — AUTO-LIMPEZA

Efetua-se a auto-limpeza do coletor pela ação da força viva da água e pelo seu poder de flutuação.

A força viva desloca os detritos de esgoto e os mantém em suspensão na água corrente; mas quando a lâmina d'água é muito delgada, certos detritos leves tocam e ficam aderidos à parede da canalização, atraindo a sedimentação de outros mais, com perigo de obstrução total da seção. A ação pura e simples da força viva da água nem sempre consegue arrancar estes detritos leves grudados nas paredes, mesmo sob grandes velocidades. Eles podem, porém, ser deslocados pela ação do poder de flutuação que aumenta com a altura molhada no conduto.

A auto-limpeza sobrevém, portanto, quando ocorrem simultaneamente: uma altura molhada e uma velocidade mínimas.

As descargas de esgoto são muito variáveis no decorrer do dia, para que sempre se possam manter continuamente essas condições mínimas. É provável, portanto, a acumulação de sedimentos em horas de baixo consumo, mas estes devem ser

postos a flutuar e carregados pelas águas de pico quando, então, forem garantidas a lâmina e a velocidade mínimas adequadas produzidas por uma descarga efetivamente existente e para tanto apropriada.

A experiência tem mostrado que a coexistência de uma altura molhada mínima de 0,2d e uma velocidade de 0,60 m/s durante o pico da onda de esgoto é suficiente para remover os sedimentos deixados pelas vazões menores anteriores.

É necessário, porém, que esta vazão ocorra efetivamente em cada dia.

Um diâmetro exagerado ou uma declividade exigua, resultantes da previsão de uma descarga de projeto excessivamente conservadora e de realização improvável ou rara, além de onerar o custo da obra, resultará em insuficiência permanente de auto-limpeza, com o conseqüente estado séptico dos detritos retidos e risco de freqüentes obstruções no coletor.

Este risco proveniente do superdimensionamento da seção e da pouca declividade do coletor ainda mais se agrava quando o projeto limita o escoamento na meia seção do coletor.

Este critério de meia seção, aliás, ainda é mais injustificável em coletor predial que já atende a um sistema saturado, onde um significativo acréscimo de novas unidades de contribuição no futuro é improvável.

Ocorre também muito freqüentemente, fazendo mesmo isto parte de muitas normas técnicas oficiais, que a simples admissão da meia seção com 0,60 m/s é tida como condição satisfatória e suficiente de auto-limpeza, não havendo sequer o cuidado elementar de verificar se ao menos a descarga teórica de cálculo é suficiente para ocupar aquela seção de forma a produzir-se a velocidade visada.

6 — UNIDADES DE PESO EM COLETOR

O método de Hunter, consoante a sua publicação em 1940, visou precipuamente a distribuição d'água no prédio. As suas pesquisas acerca da rede de esgotos, efetuadas por medições diretas do fluxo nos condutos prediais, foram interrompidas por sua morte e os resultados dela nunca foram publicados. Depois da guerra de 1939, John L. French salvou parte dos seus manuscritos, coligindo-os e analisando-os em Memorando não publicado apresentado ao National Bureau of Standards como contribuição ao Plumbing Code. Entretanto a linha de raciocínio de Hunter na formação de sua tabela de pesos em coletores não é conhecida porque as suas notas se perderam.

Pela análise de French, infere-se que Hunter usou nestas tabelas a mesma freqüência de uma vez em cada 5 minutos para o vaso sanitário de 4 galões, na média de 4/5 gpm ou 0,8n gpm para n peças, associando em seguida aos dados de medição de onda por ele efetuados.

Por exemplo, tomando o diâmetro de 100", declividade 2%, $n=0,015$ pela fórmula de Manning $Q=550$ gpm que na freqüência indicada cor-

responde a $n = \frac{550}{0,8} = 668$ vasos.

Como cada vaso vale 10 unidades Hunter, o total seria 6.680, enquanto a tabela de Hunter dá 6.800 para o caso.

Verifica-se por esta e outras amostras que ele manteve o mesmo critério de consumo cerrado e limite $L=1\%$ já exposto, para o dimensionamento da distribuição predial de água.

Com bastante razão observa o próprio Manas que o princípio adotado por Hunter, segundo o qual a vazão de projeto seja aquela de consumo excepcionalmente cerrado ($T=5$ minutos) não excedida senão num total de intervalos inferior a 1% do tempo e também que o coletor não ultrapasse a meia seção para esta vazão excepcional, este princípio é desnecessariamente conservador e resulta num dispendioso coletor sobredimensionado e deveras inconveniente sob o aspecto de auto-limpeza, como foi visto.

Conclui-se que os valores de vazão em regime não permanente (ondas) determinado por Hunter em coletores, bem como o critério de pesos relativos das peças devem prevalecer para a determinação das vazões de projeto. Entretanto os períodos "T" as vazões unitárias "q" devem ajustar-se mais às condições normais do consumo domiciliar, nas horas de maior utilização conjunta.

Depreende-se, outrossim, do exposto a respeito do amortecimento da vazão no coletor, que uma onda de muito curta duração, como sói ser essa cuja vazão só será excedida em instantes num total de 1% do tempo, deve ser absorvida de imediato.

Na pesquisa de nova função para coletores, será aqui utilizada como padrão a descarga do vaso sanitário amortecida no coletor, à distância de 6m da origem, sendo as "t" e os "q" obtidos nos hidrogramas levantados por Hunter. O período "T", intervalo entre duas descargas consecutivas, corresponderá ao valor determinado por Wise e Croft investigando na Inglaterra os hábitos de 108 famílias em casas e apartamentos. Assinalaram a média de 26 min., sendo 19min. na pior hora de qualquer dia da semana.

7 — SISTEMA WISE-CROFT

Procedendo de forma semelhante à de Hunter, estes pesquisadores utilizaram também a teoria das probabilidades, mantendo embora o mesmo limite $L = 1\%$ mas com vazões unitárias, intervalos T de utilização e t de operação para cada peça completamente diversos dos de Hunter, do que resultou, evidentemente, um novo sistema de unidades.

É importante ressaltar que o sistema e a função de Wise e Croft apoiam-se em valores obtidos em inúmeras observações de consumo domiciliar. Devem, portanto, traduzir vazões muito mais próximo daqueles que efetivamente ocorrem durante os maiores picos dos hidrogramas prediais do que as representadas pelo sistema e pela função de Hunter. Baseado no consumo público excepcionalmente cerrado, o sistema de Hunter conduz a vazões

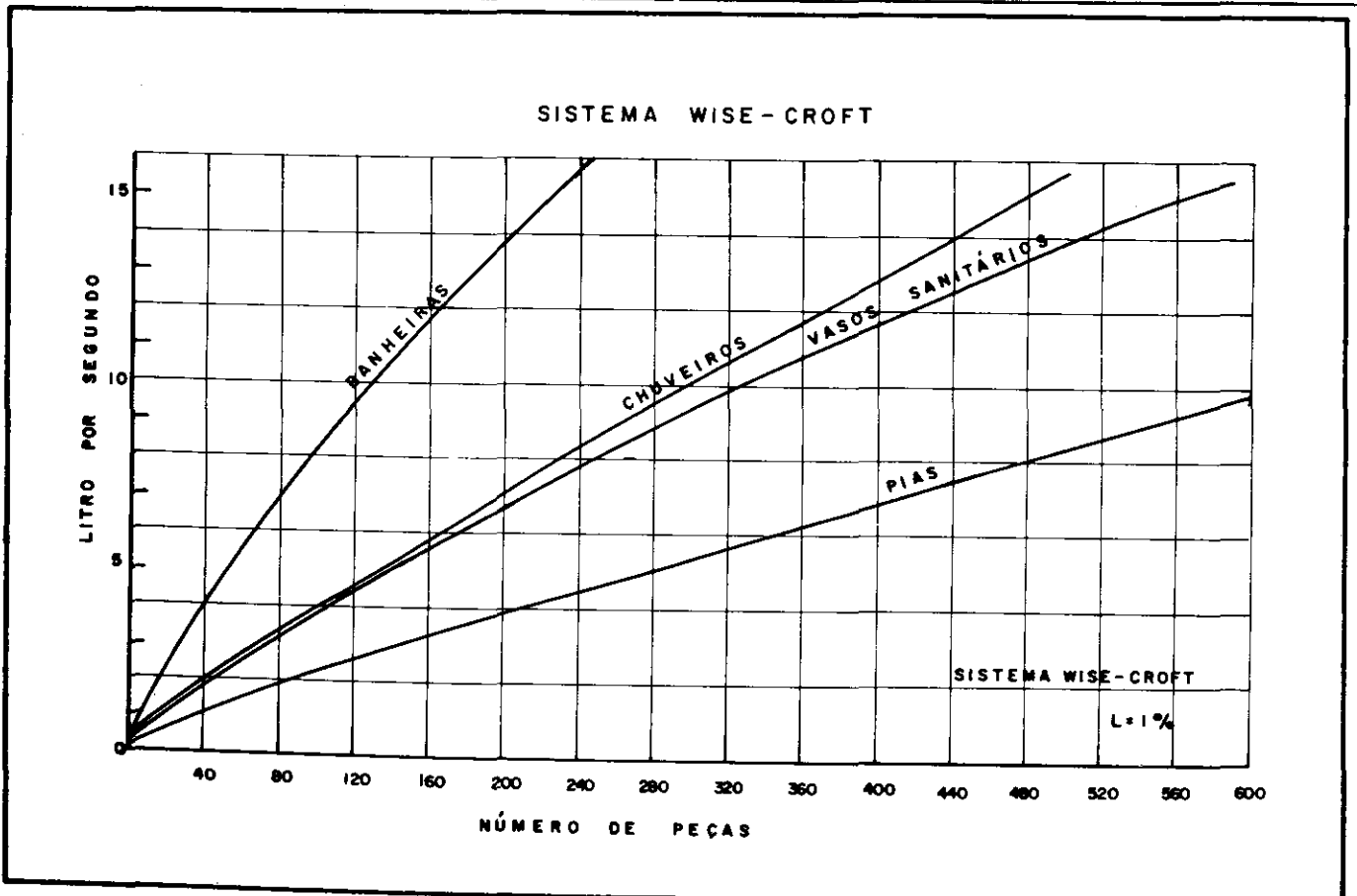
muito superiores às reais do consumo predial, o que é de todo inconveniente para o projeto dos coletores, como foi visto.

TABELA 7-2

Unidades Comparativas de Contribuição		
Peça	Hunter	Wise-Croft
WC	10	10
Banheira	3	25
Chuveiro	2	11
Pia coz.	2	6

TABELA 7-1

Poisson $L = 1\%$	WC		Banheira		Chuveiro		Pia		
	$t = 7s$ $T = 1140$	$p = 0,006$ $q = 1,90$	$t = 75s$ $T = 1.800$	$p = 0,042$ $q = 0,88$	$t = 240s$ $T = 1800$	$p = 0,133$ $q = 0,15$	$t = 120s$ $T = 1500$	$p = 0,08$ $q = 0,15$	
np	m	n	Q l/s.	n	Q l/s.	n	Q l/s.	n	Q l/s.
0,25	1	41	1,9	6	0,9	2	0,2	3	0,2
0,60	2	98	3,8	14	1,8	5	0,3	8	0,3
0,95	3	156	5,7	23	2,6	7	0,5	12	0,5
1,35	4	221	7,6	32	3,5	10	0,6	17	0,6
1,85	5	303	9,5	44	4,4	14	0,8	23	0,8
2,35	6	385	11,4	56	5,3	18	0,9	29	0,9
2,90	7	475	13,3	69	6,2	22	1,0	36	1,0
3,50	8	574	15,2	83	6,8	26	1,2	44	1,2
4,10	9			98	7,9	31	1,4	51	1,4
4,75	10			113	8,8			59	1,5
6,00	12			143	10,6	45	1,8	75	1,8
7,42	14			177	12,3			93	2,1
8,85	16			211	14,1			111	2,4
10,30	18			245	15,8			129	2,7
11,80	20							148	3,0
16,25	25					122	3,8	203	3,8
35,65	50					268	7,5	441	7,5
52,85	70							660	10,5
79,00	100					600	15,0	988	15,0



Para uma idéia da forte divergência entre os sistemas de unidades Hunter e Wise-Croft, foi organizada a tabela 7-1, apresentando as funções relativas à banheira, ao vaso sanitário e à pia de cozinha conforme as frequências e vazões unitárias indicadas por Wise-Croft, acrescentando-se a do chuveiro, que entre nós é de utilização muito mais frequente do que a banheira, com o $T = 30$ min. da banheira. Os dados da pia foram ajustados pelos de Wise-Croft para $q = 0,15$ l/s, pois tanto eles como Hunter admitem a pia e o lavatório tampados para depois descarregar, o que também não é aqui usual. Foram empregados os mesmos fatores m e np da série de Poisson utilizados por Hunter e por Wise-Croft para a função de $L = 1\%$.

Apesar de aparecer a banheira com tão ampla superioridade no sistema Wise-Croft, a sua contribuição na realidade é pouco significativa entre nós, dada a ampla preferência pelo banho de chuveiro, em hora de pico. Embora o chuveiro deva, de fato, apresentar um peso muito maior do que o que lhe atribui Hunter, o que se observa nas medições do fluxo predial é realmente a nítida prevalência da contribuição do WC nos picos do hidrograma.

Em conclusão, pode dizer-se que o sistema Hunter exagera os valores das vazões relativas às suas unidades e atribui ao WC um peso excessivamente superior ao de outras peças que contribuem fortemente no pico. Entretanto, se adotado o seu critério para a utilização conjunta de peças de uso pessoal, segundo o qual Hunter atribui 6 unidades ao banheiro e 8 quando provido de água quente, tal discrepância entre as reais influências relativas das peças contribuintes no pico domiciliar e as unidades que as representam praticamente desaparece.

Neste caso, a aplicação das unidades Hunter como representação adequada do consumo predial privado fica a depender apenas do reajustamento da sua função unidades — vazão às condições habituais deste consumo, conforme abordado no capítulo final do presente trabalho.

8 — CORRELAÇÃO UNIDADES/ÁREA EDIFICADA

O intervalo T compatível com o uso satisfatório de uma peça sanitária restringe o número de solicitantes dela em horas de demanda grande, pois como as instalações sanitárias constituem a mais onerosa parcela na construção e na conservação de uma economia, elas costumam, por isto, ser projetadas para suprir a menor demanda máxima aceitável, à qual a solicitação habitual se conforma.

A disponibilidade economicamente restrita dos aparelhos sanitários compele a uma utilização efetiva máxima em hora de pico. Entretanto a vazão máxima do hidrograma diário não resulta da coincidência, pois o poder de contribuição de alguns pode não ser o máximo nesta hora. Mas como o sistema de unidades de peso, qualquer que seja ele, corresponde aos poderes de contribuição de cada uma das peças neste intervalo de vazão máxima do hidrograma diário, conclui-se que o poder de contribuição de uma economia, representado pelo número total de unidades do seu conjunto de peças, cinge-se ao **fator econômico de máximo benefício pelo mínimo custo**. Então a taxa de unidades por metro quadrado (U/m^2) de área edificada (pisos) deve estabilizar-se num valor mínimo satisfatório, constituindo um parâmetro constante nas economias de mesma natureza (residencial, industrial ou comercial).

O Serviço de Controle da Rede de Esgotos, atualmente da CEDAE, vem efetuando durante as duas últimas décadas, sob a direção do autor, inúmeros e minuciosos levantamentos cadastrais em grande quantidade de bacias, para fins de medição na rede do Rio de Janeiro. Foram levantadas mais de vinte bacias, contendo cada uma, em média, 1000 economias e 4500 moradores. Com o auxílio das plantas completas de cada prédio, pertencentes ao Arquivo da CEDAE, determinou-se em cada uma das economias a área edificada ou de piso, o número total de unidades Hunter e o de moradores, além de outros numerosos dados de interesse para os ajustamentos relativos à medição de vazão de esgoto e a diversos informes urbanísticos.

Estes levantamentos assinalaram, em bacias residenciais, que aquele parâmetro apresenta-se, ou média e em moda, próximo de 20 (vinte) Unidades Hunter por $100 m^2$ de área edificada, em cada bacia.

Mostraram, outrossim, que a área da economia residencial média é aproximadamente 1 dam^2 .

Depreende-se, então, que é lícito, como o fez Hunter para o conjunto de peças no banheiro, admitir-se o conjunto economia média como um aparelho ideal contribuindo com 20 unidades Hunter ou com $100 m^2$ de área edificada indiferentemente.

Em síntese, por subordinar-se à lei do maior proveito, o poder de contribuição de um conjunto de economias correlaciona-se à sua área edificada, segundo uma razão constante, como foi amplamente constatado nas citadas determinações cadastrais. Logo, o poder de contribui-

ção de um conjunto de economias pode representar-se tanto pelo seu total de unidades Hunter como pelo seu montante em m^2 de área edificada.

Note-se que um número excedente de unidades por m^2 reflete maior disponibilidade, de que resulta maior intervalo T médio de utilização, menor p e, portanto, menor vazão de cada conjunto de peças, que no total tende praticamente à mesma vazão da economia dotada com o fator médio modal de unidades/ m^2 .

Assim, a função do crescimento provável das vazões tanto pode relacionar-se com os totais de unidades Hunter como com os totais de m^2 das suas áreas edificadas contribuintes, atendendo ao que o projetista optar por maior simplicidade nos cálculos de vazões e na escolha das seções dos coletores prediais.

9 — FUNÇÃO AJUSTADA

Em seqüência e completando o exposto nos capítulos precedentes, procede-se aqui ao ajustamento da função de Hunter às condições mais compatíveis com os gastos prediais privados, devendo ela desdobrar-se em duas, para melhor atender à metamorfose das vazões ao longo dos condutos:

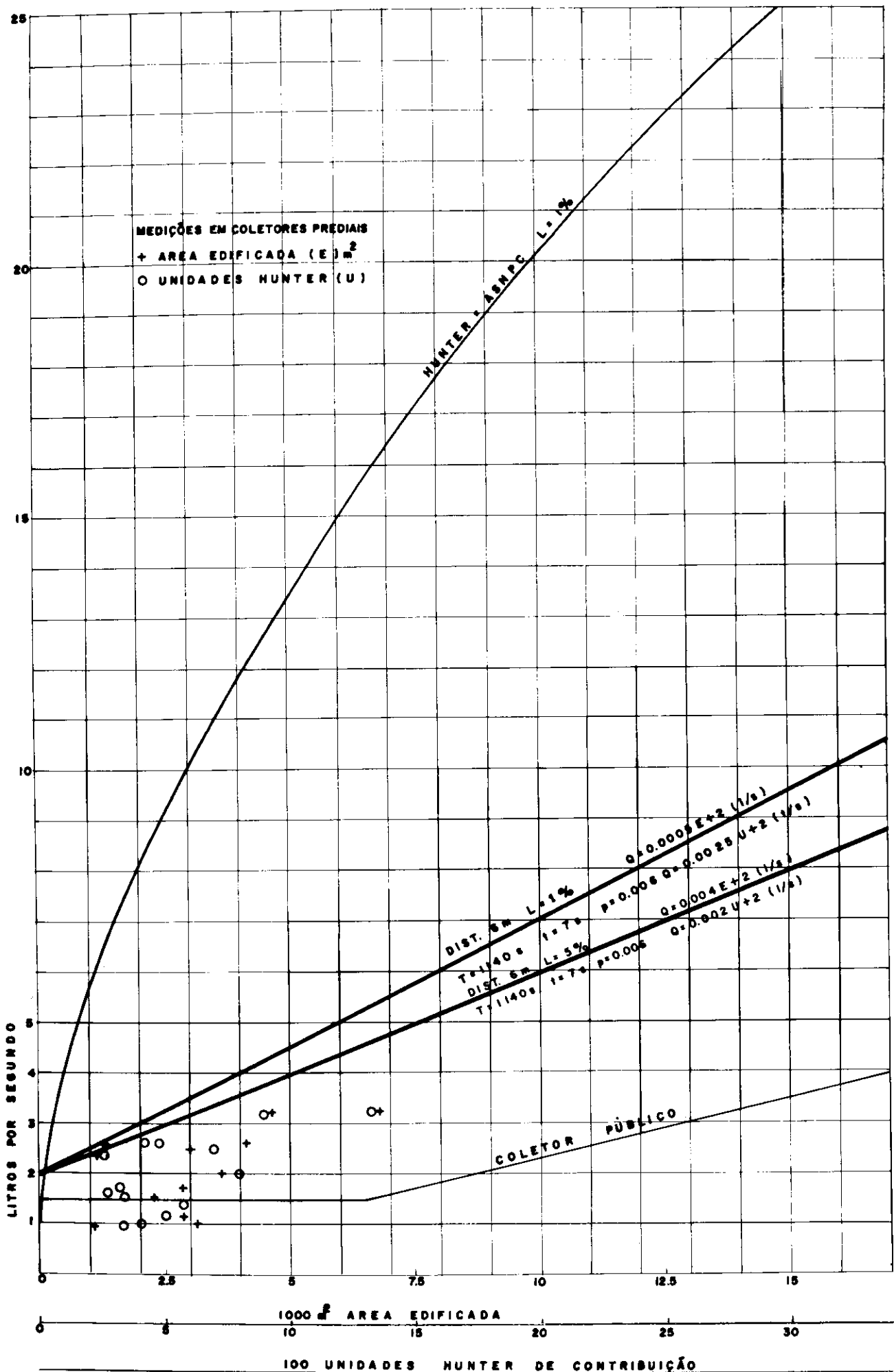
- a primeira, para a região onde o amortecimento é relativamente insignificante, conforme as pesquisas de Hunter sobre o escoamento em regime de ondas, aplicável aos ramais de esgoto e aos tubos de queda;
- a segunda, com aplicação em coletores prediais e subcoletores no solo, considerando as ondas parcialmente amortecidas pelas maiores extensões dos condutos sob declividades mais baixas.

Conforme foi esclarecido, utilizou-se como paradigma a função relativa ao WC, ao qual se atribuiu 10 unidades, adotando como parâmetros o fator de uso " p " e a vazão unitária " q " determinados por Wise Croft.

O limite L , termo de máxima utilização, será igual a 1% na primeira função, já que o amortecimento das ondas é insignificante.

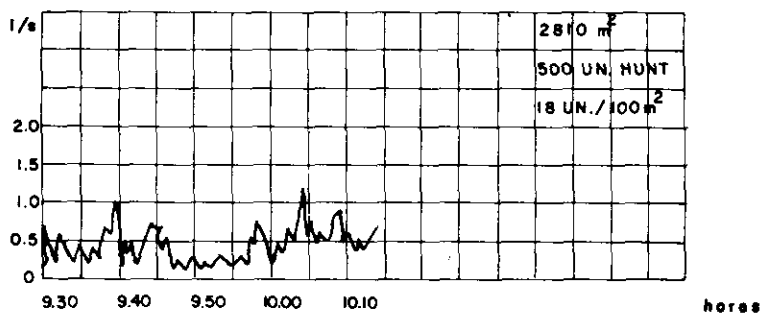
Na segunda função adotou-se $L = 5\%$ que foi o que melhor se conformou à série de vazões medidas diretamente, sob a direção de autor, em diversos coletores prediais.

O cálculo de probabilidades não se aplica aos pequenos valores, cujo âmbito, todavia, não se pode determinar "a priori".

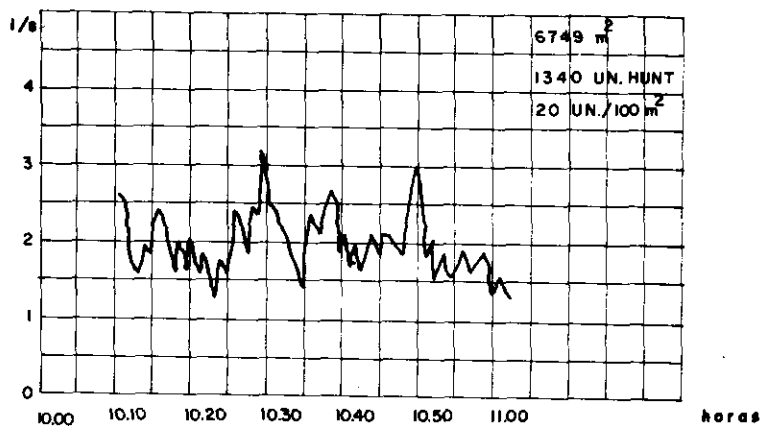


MEDIÇÕES EM COLETORES PREDIAIS

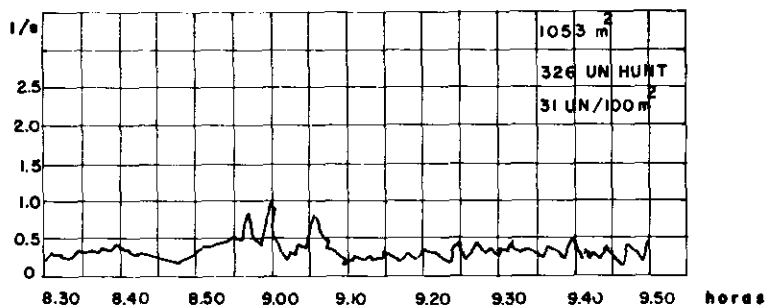
RUA GENERAL GLICÉRIO 326 - RES



RUA BELIZARIO TAVORA 467 - RES.

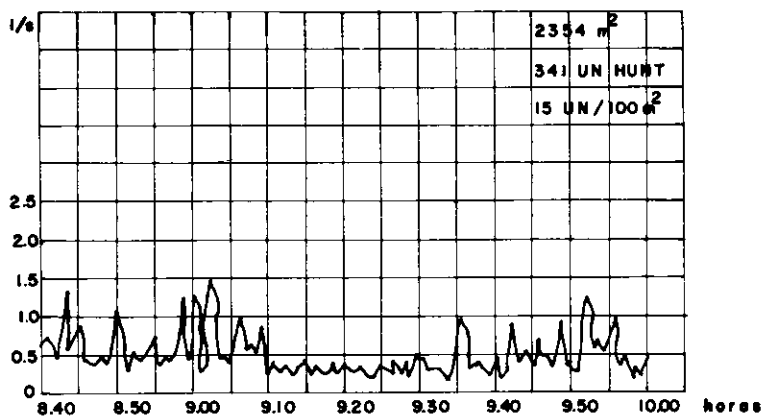


RUA JOAQUIM NABUCO 64

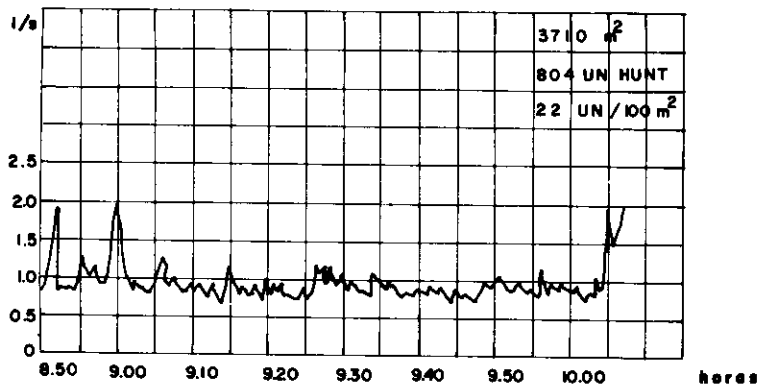


MEDIÇÕES EM COLETORES PREDIAIS

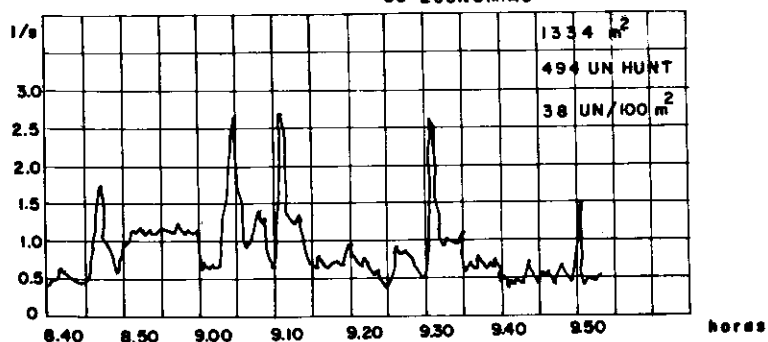
RUA CONSELHEIRO LAFAIETE 15



RUA RAUL POMPEIA 61

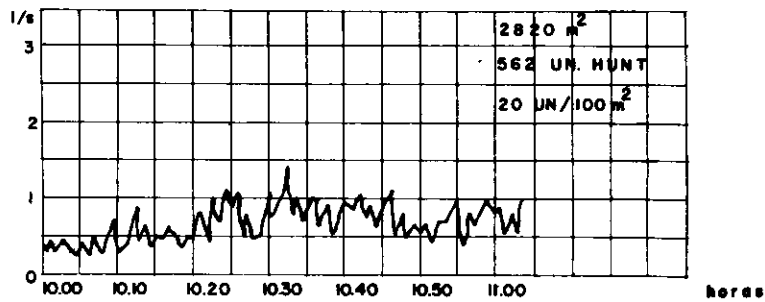


RUA BULHÕES DE CARVALHO 149
30 ECONOMIAS

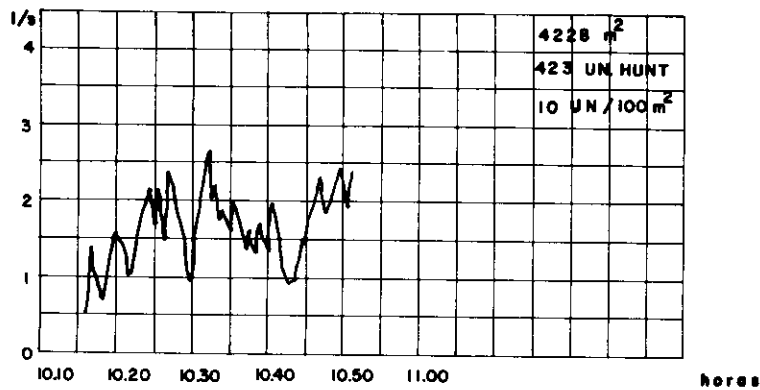


MEDIÇÕES EM COLETORES PREDIAIS

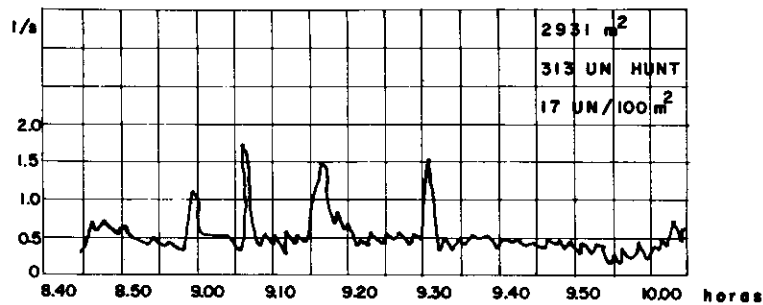
RUA PAULA FREITAS 19 - RES.



AV. RIO BRANCO 277 - COM.

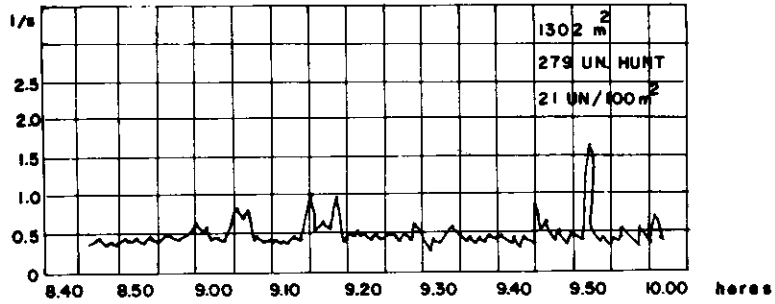


RUA BULHÕES DE CARVALHO

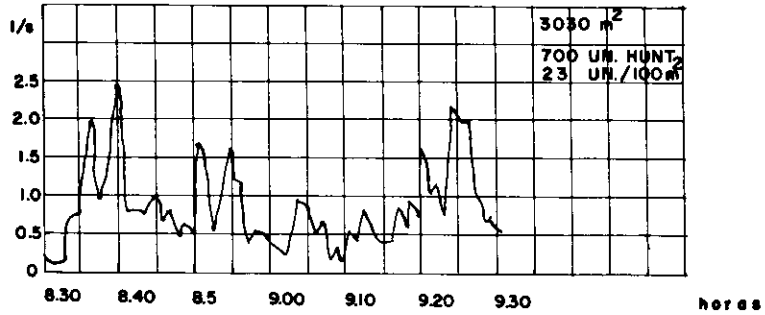


MEDIÇÕES EM COLETORES PREDIAIS

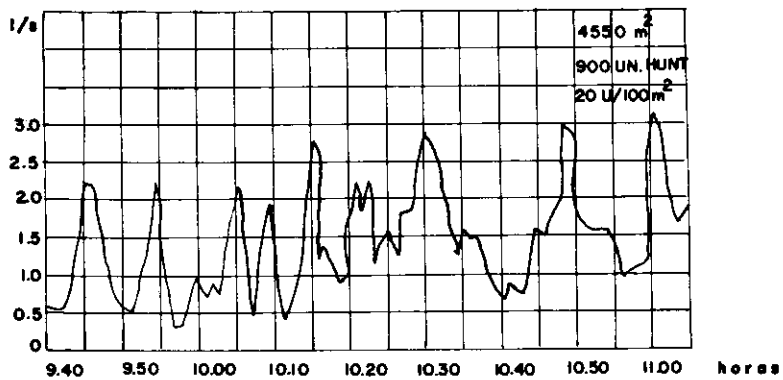
RUA RAUL POMPEIA 24 - RES.



RUA GENERAL GLICÉRIO 74 - RES.

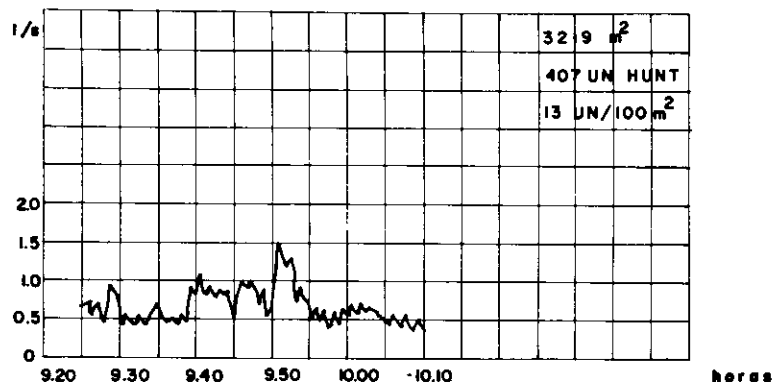


RUA GENERAL RIBEIRO DA COSTA - RES.

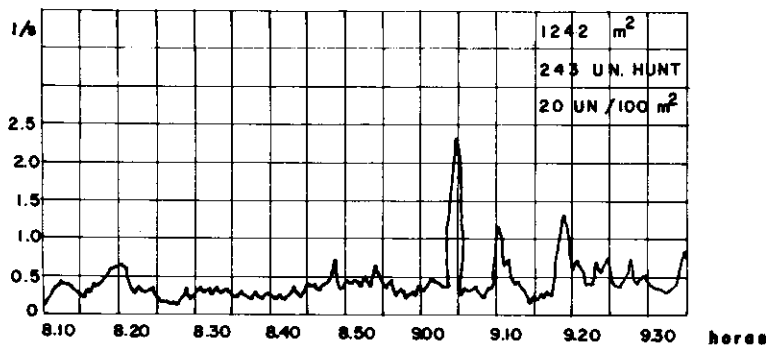


MEDIÇÕES EM COLETORES PREDIAIS

AV. N. S. COPACABANA 1386



RUA JOAQUIM NABUCO 58



O ajustamento linear de ambas as funções pelos mais altos valores ofereceu uma aderência aceitável nessa região, tendo as retas representativas das funções atingindo a origem das abscissas na ordenada 2 l/s, adrede a representar melhor o conjunto dos mais baixos valores também, dado que a menor vazão máxima, relativa à descarga de pelo menos um vaso sanitário, situa-se próximo de 2 l/s.

O atendimento estatístico desse ajustamento na região dos mais baixos valores comprovou-se pelo bom enquadramento dos dados obtidos nas medições diretas, conforme assinalado no gráfico anexo representando aquelas funções e, para comparação, a original de Hunter bem como a relativa ao coletor público, ajustada pelo autor a inúmeros dados de vazão por ele determinados nas redes de várias bacias do Rio de Janeiro, que amoldou-se a $L = 20\%$ conforme comprovou (3).

A primeira função, representativa das vazões máximas nos ramais dos aparelhos e nos tubos de queda, traduz-se pelas equações:

$$Q = 0,0025U + 0,2$$

$$Q = 0,0005E + 2$$

Sendo Q em litros por segundo,

U o montante de Un. Hunter de contribuição.

E o total em m² de área edificada contribuinte.

A da função para os coletores prediais é:

$$Q = 0,002U + 2 \text{ ou}$$

$$Q = 0,0004E + 2.$$

As medições prediais efetuaram-se em horas de pico por meio de uma calha medidora Palmer-Bowlus, sendo os segmentos dos hidrogramas com os dados dos prédios respectivos aqui anexados.

Os valores das vazões máximas foram assinalados no gráfico da função correspondente aos coletores prediais, tanto em relação às unidades Hunter como às áreas edificadas.

Observe-se que a distribuição dos pontos medidos confirma ser indiferente o emprego de qualquer um dos dois parâmetros para a avaliação de vazões ou determinação das seções de projeto nas instalações privadas. Cumpre notar, entretanto, que as vazões relativas às áreas industriais ou comerciais equivalem a cerca de 70% das residenciais, conforme resultou das referidas medições em bacias.

Ramais de Esgoto e Tubos de Queda

$$Q = 0,25 \cdot UHC + 2 \cdot Q = 0,0005 \cdot E + 2$$

Diâmetro	Ramais			Por Tubo de Queda								
				Três Intervalos ou Três Andares			Mais de três andares					
							Total por Tubo			Total por Andar		
mm	Q	UHC	A. Edif.	Q	UHC	A. Edif.	Q	UHC	A. Edif.	Q	UHC	A. Edif.
100	6	1.600	8.000	6	1.600	8.000	8	2.400	12.000	4	800	4.000
150	10	3.200	16.000	12	4.000	20.000	19	6.800	34.000	7	2.000	10.000
200	17	6.000	30.000	21	7.600	38.000	32	12.000	60.000	10	3.200	16.000
250	23	8.400	42.000	32	12.000	60.000	45	17.200	86.000	13	4.400	22.000
300	33	12.400	62.000	46	17.600	88.000	60	23.200	116.000	17	6.000	30.000

$$Q = 0,002 \cdot UHC + 2 \cdot Q = 0,0004 \cdot E + 2$$

Coletores e Sub-Coletores Prediais

Diâmetro mm	Declividade m/m	Vazão l/s	Unidade UHC	Área Edificada E. m ²
100	0,01	6	2.000	10.000
100	0,02	6	2.000	10.000
100	0,04	7	2.500	12.500
150	0,01	10	4.000	20.000
150	0,02	12	5.000	25.000
150	0,04	13	5.500	27.500
200	0,005	17	7.500	37.500
200	0,01	18	8.000	40.000
200	0,02	19	8.500	42.500
200	0,04	21	9.500	47.500
250	0,005	23	10.500	52.500
250	0,01	25	11.500	57.500
250	0,02	30	14.000	70.000
250	0,04	36	17.000	85.000
300	0,005	33	15.500	77.500
300	0,01	39	18.500	92.500
300	0,02	45	21.500	107.500
300	0,04	51	24.500	122.500

Totais máximos de Área Edificada ou Unidades Hunter de Contribuição.

3 - Definir a Unidade Hunter de Contribuição (UHC) como: É um fator probabilístico numérico que representa o poder relativo de contribuição de cada uma das diferentes peças de um conjunto de aparelhos heterogêneos em funcionamento simultâneo, em hora de utilização máxima no hidrograma diário.

O seu valor corresponde a 1/10 do atribuído ao poder de contribuição do vaso sanitário residencial.

4 - Sejam aceitos, indiferentemente e a critério do projetista, os parâmetros UHC ou m² de área edificada (de piso) contribuintes para a determinação das vazões ou dos diâmetros de projeto.

5 - Sejam adotadas, para os projetos de canalizações prediais, as equações reajustadas e as respectivas tabelas de vazões de cálculo e de diâmetros elaboradas no presente trabalho.

Para a confecção das tabelas de diâmetros acima foram obedecidas muito aproximadamente as vazões determinadas por Hunter no escoamento em coletor, conforme os totais de UHC e de m² obtidos pelas equações respectivas.

A disposição das tabelas é aproximadamente a mesma apresentada no National Plumbing Code.

A condição de auto-limpeza é satisfeita pela adoção do menor diâmetro compatível com o total da UHC ou de m² de área edificada do projeto.

Os diâmetros inferiores a 100mm. não foram incluídos na presente tabela porque as vazões respectivas são menores que 2 l/s, limite inferior do alcance das funções de probabilidade ajustadas.

Foi mantido o critério conservador do escoamento no máximo à meia seção.

RECOMENDAÇÕES

Em conclusão, com base no exposto, destacam-se as seguintes recomendações:

- 1 - Seja suprida das Normas a expressão "Unidade de Descarga" como representação do peso de contribuição de uma peça no sistema, por não fazer sentido lógico.
- 2 - Seja adotada a denominação "Unidade Hunter de Contribuição" ou simplesmente "Hunter" para, em substituição, designar peso ou poder relativo de contribuição de cada peça, como justo tributo ao seu idealizador.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Vincent T. Manas - National Plumbing Code Handbook (Mc Graw Hill Book Co.)
- (2) Eugênio S. Macedo - Cálculo do Escoamento na Rede de Esgotos Sanitários do Sistema Separador Absoluto (I Congresso Brasileiro e VIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária).
- (3) Eugênio S. Macedo - Estimativa da Vazão Máxima de Esgoto Sanitário no Sistema Separador Absoluto, em função da área edificada contribuinte (II Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária).
- (4) Eugênio S. Macedo - Previsão Racional de Hidrogramas nos Esgotos Sanitários (VII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária).
- (5) Roy B. Hunter - Water Distributing Systems for Buildings (Nat. Bureau of Standards).
- (6) Roy B. Hunter - Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems (National Bureau of Standards).