"FATORES DE PROJETO" PARA INSTALAÇÕES DOMICILIARES DE ÁGUA

PELO MÉTODO DE ROY B. HUNTER

Eng. MARCELO FRANCISCO DE LIMA
do Departamento de Águas e Esgôtos de São Paulo

Assunto: — Verificação dos "fatores de projeto"" para instalações domiliciares de água — dados na página n.º 436 de "Engenharia", número 82, de junho de 1949 — Tabela II — para banheiras tipo B — variante.

Incumbido da tarefa supra citada, fui forçado a fazer uma paciente exegése do conteúdo da parte teórica do artigo contido na revista "Engenharia" e da publicação do "U. S. Department of Commerce" — de autoria de Roy B. Hunter — na qual foi baseado o artigo do Engenheiro Haroldo Jezler na "Engenharia". A natureza da parte teórica, baseada nos princípios da teoria de probabilidades, presta-se a confusão, não sendo fácil a aplicação do que foi exposto pelos dois autores, especialmente porque nenhum dêles ofereceu um exemplo de sua aplicação. Por essa razão, estou juntando o que chamei de exegése, que fiz para poder entender o que foi exposto, a qual poderá talvez servir para melhor esclarecer o assunto.

Pela comparação dos resultados entre os "Valores" na tabela II, tipo B — variante — e os resultados que obtivemos — vêr "Quadro" —, nota-se que para os mesmos valores do "fator de projeto" — "m" —, os valores do número de aparelhos instalados — "n", por nós calculados divergem para menos, sensìvelmente até o valor de "m" = 9, passando os valores de "n" a pouco divergir para mais a partir de n = 70 e coincidem apenas para n = 44.

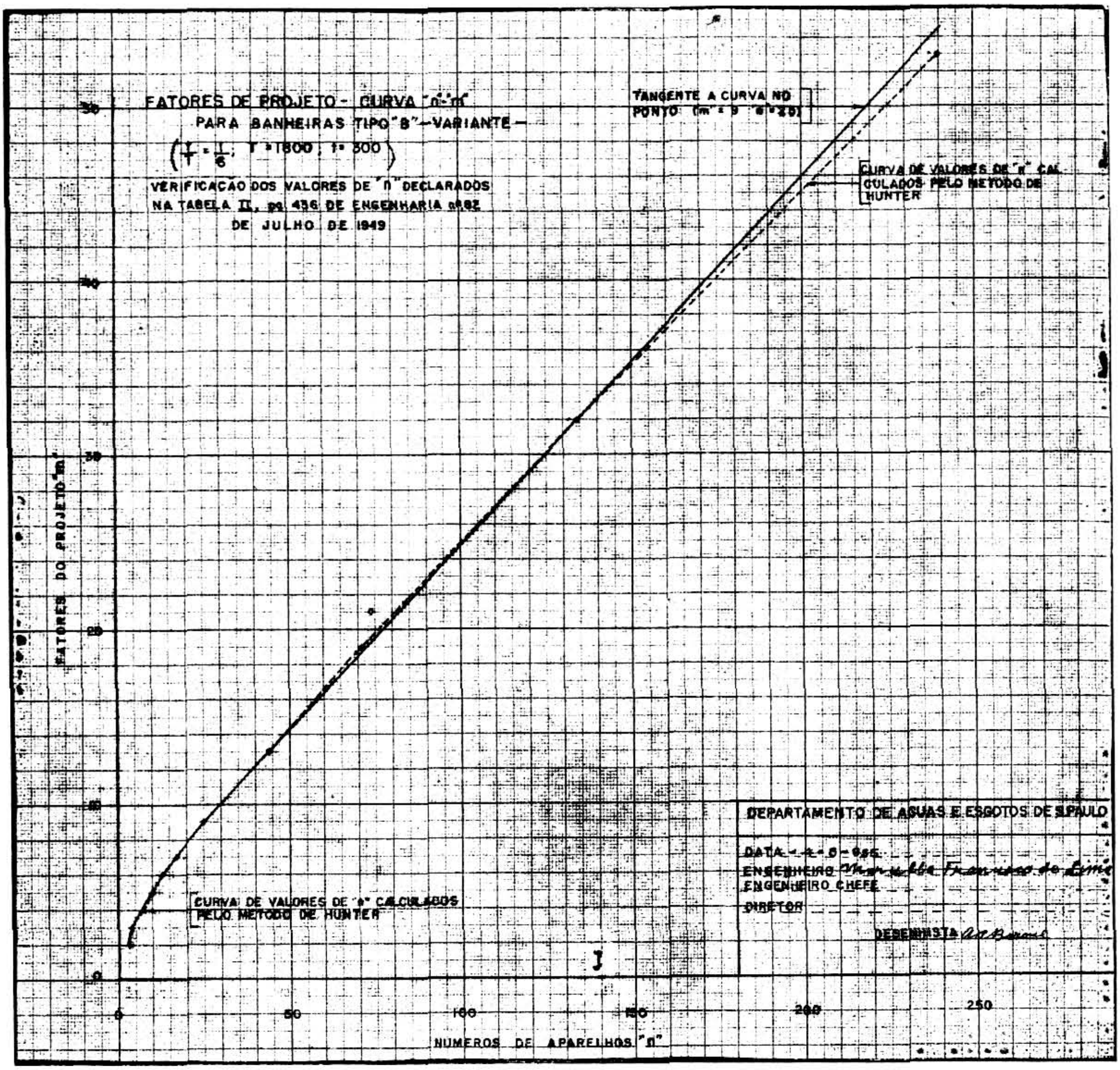
O gráfico da curva "fatores de projeto" (m) — "número de aparêlhos" (n).

A linha interrompida passa pelos pontos determinados por nós de acôrdo com o método de Roy B. Hunter.

A linha cheia em parte é uma reta traçada tangenciando a curva de linha interrompida, no ponto cujas coordenadas são m = 9 e n = 25.

A divergência no valor de "m" para o mesmo "n" entre ambas é inferior a 3%, demonstrando não ser necessária a determinação de maior número de pontos, pois a aproximação nos cálculos hidráulicos é muito menor e essa divergência pode ser reduzida se a tangente fôr traçada a partir de valor mais alto de "m".

É oportuno observar que no gráfico da figura 6, pg. 440 de "Engenharia", onde é feita a comparação entre o método adotado pelo D.A.E. de S. Paulo e o método exposto pelo articulista; para edifícios comerciais, especialmente a partir de dez andares, a diferença entre as vazões calculadas pelos dois métodos não



é grande, e levando-se em conta a variação a esperar entre as vazões calculadas e as vazões reais, não é de estranhar a preferência pelo atual método do D.A.E., por oferecer maior fator de segurança, pois todos conhecemos o irritante inconveniente do *"cano entupido"* embutido numa parede. Quanto aos edifícios residenciais, o mesmo argumento procede, pois embora sejam muito maiores as vazões calculadas pelo método do D.A.E., os diâmetros são pequenos e os efeitos da corrosão são relativamente maiores.

Acresce que, o custo das canalizações em relação ao custo da construção é bem pequeno.

Dados Valores de "m". Determinar "n"

(Banheiras tipo B; $\frac{t}{T} = 1/6$; T = 1 800; t = 300

QUADRO

Valores da Tabela II — pg. 436 de "Engenharia" — N.º 82 de Junho de 1949			Valores encontrados nesta verificação		Divergência de "n" a + ou —. Sôbre os valores por nós determinados
N.º de Ordem	n	m	n	m	
1	3	2	3	2	+ 0%
2	6	3	4	3	+ 50%
3	9	4	8	4	+ 12%
4	12	5	10	5	+ 12%
5	16	6	13	6	+ 23%
6	19	7	17	7	+ 12%
7	27	9	25	9	+ 12%
8	44	13	44	13	+ 0%
9	70	19	71	19	— 1%
10	132	32	134	32	— 2%
11	238	53	240	53	— 1%

EXPOSIÇÃO DO MÉTODO DE ROY B. HUNTER

Fatores de Projeto para "Instalações Domiciliares de Água

Verificação dos fatores dados na página n.º 436, Tabela II, da revista "Engenharia" número 82, de Junho de 1949.

Dados: — Banheiras — Tipo "B" — (variante)

$$t = 300\,s; \quad T = 1\,800\,s; \quad \frac{t}{T} = 1/6; \quad q = 0.30\ l/s; \quad Q = 90 \text{ (litros)}.$$

$1/\tau$ = taxa prefixada da probabilidade total

t = tempo de cada operação

T = tempo decorrido entre duas utilizações

Q = consumo total de água por operação

q = vasão por aparelho = Q/t

n = número de aparelhos instalados

m = fator de projeto

r = número variável de aparelhos, até "n".

1) *Definição de fator de projeto "m"* — É um número tal de aparelhos em uso simultâneo, dentre "n" aparelhos, que a probabilidade total dêsse número ser excedido é inferior ou igual a uma taxa pré-estabelecida (neste caso 1% = 0.01).

2) *Definição de probabilidade total* = $\sum_{r=\overline{r}}^{r=n} p\,n\,r$

Chamando "p n r" a probabilidade de se achar em uso simultâneo em dado momento um grupo de "r" aparelhos dentre "n" aparelhos; a probabilidade total será a soma dos "p n r" partindo de um valor particular de r, inclusivé êsse valor, e designado por r = m + 1, onde "m" é o fator de projeto.

3) *Condições a que está sujeito o valor de "m"*

Para que "m" não seja excedido: — *a condição* estabelecida é que a soma dos "p n r" a partir de $r = \bar{r} = m + 1$, seja inferior ou igual a 0.01.

Portanto, $$\sum_{\bar{r}=m+1}^{r=n} p\,n\,r \leq \frac{1}{\tau} = 0.01,$$

notando que a soma abrange pn $(\bar{r} = m + 1)$ e pn $(r = n)$.

Essa condição define o fator de projeto "m"; mas veremos adiante que em determinadas condições, ela poderá ser substituída por outras condições que asseguram a *realização aproximada dessa exigência;* evitando a efetivação da soma dos "p n r" em certos casos, e em outros casos exigindo apenas a realização da soma parcial dos "p n r".

Dissemos *"realização aproximada dessa exigência"*, porque os valores de "r" são números inteiros e dêstes números resultam quasi sempre, valores de "p n r" cuja soma se aproxima de "$\frac{1}{\tau}$" para determinado $r = \bar{r}$; sendo essa soma superior a "$\frac{1}{\tau}$" para $r = \bar{r}$ e inferiôr a "$\frac{1}{\tau}$" para $r = \bar{r} + 1$.

Para evitar a efetivação da soma dos "p n r" Roy B. Hunter divide os casos que se apresentam em duas categorias separadas pela condição de ser um certo valor de

$$\rho = \frac{pn\ (\bar{r} = m + 1)}{pn\ (\bar{r} - 1 = m)},$$

inferior ou superior a 1/2. No caso de ser $\rho < 1/2$, não será necessário fazer a soma e no caso de ser $\rho > 1/2$ será necessário fazer apenas uma soma parcial, como adiante será justificado — vêr ns. (5), (8) e (9).

Substituição da exigência rigorosa $\left[\sum_{\bar{r}=m+1}^{r=n} p\,n\,r \leq \frac{1}{\tau} = 0.01\right]$ *por outras que garantem apenas a realização aproximada dessa exigência.*

No caso da primeira categoria $(\rho < 1/2)$, será necessário satisfazer preliminarmente por meio de tentativas as condições: — $p\,n\,r > \frac{1}{\tau}$ e $p\,n\,(r + 1) < \frac{1}{\tau}$ e procurar em seguida, dentre os valores de "r" que satisfazem a essas condições, qual o valor de "r" do qual resulta $p\,n\,r - \frac{1}{\tau}$ = o mínimo positivo.

No caso de ser dado o valor de "n", procura-se o valor de "r" que satisfaça a essas exigências. Êsse valor de "r" será o valor de "m".

No caso de ser dado o valor de "m", procura-se qual o valor de "n" que satisfaça a essas exigências. Êsse valor será o valor de "n".

No caso da segunda categoria $(\rho < 1/2)$, para evitar a soma total dos "p n r", a exigência rigorosa é substituída pela condição indicada adiante, no caso n.º 8.

4) *Para achar o valor de p n r:*

O valor de p n r é dado por Roy B. Hunter na página 6 da publicação do "U. S. Department of Commerce Building Materials and Strutures" — "Report B M S 65 by Roy B. Hunter — Methods of Estimating Loads in Plumbing Systems. Issued December 16, 1940". Essa publicação é vendida pelo Superintendent of Documents, Washington, D. C. — Price 10 Cents.".

$$p\,n\,r = C\,n\,r \left(\frac{t}{T}\right)^r \times \left(\frac{T - t}{T}\right)^{n-r},$$

onde

$$\text{I)} \quad C\,n\,r = \frac{n\,(n-1)\,(n-2) \text{ a r fatores}}{r\,!} = \frac{n\,!}{r\,!\,(n-r)\,!}$$

5) *Para, segundo Roy B. Hunter, determinar "m" sem efetuar a soma* $\sum\limits_{r=\bar{r}=m+1}^{r=n} p\,n\,r$.

Foi demonstrado por Roy B. Hunter, nas páginas 7 e 8 do folheto citado em (4), que se:

$$p\,n\,(\bar{r} - 1 = m) \times < \frac{1}{\tau} \qquad \text{e} \qquad \rho = \frac{p\,n(\bar{r} = m + 1)}{p\,n(\bar{r} - 1 = m)} \leq \frac{1}{2};$$

então

$$\sum_{r=\bar{r}=m+1}^{r=n} p\,n\,r < p\,n \left| r = m = (\bar{r} - 1) \right| \leq \frac{1}{\tau}.$$

Assim, quando satisfeitas por meio de tentativas as duas primeiras condições, não será necessário fazer a soma $\sum\limits_{r=m+1}^{r=n} p\,n\,r$, para verificar se essa soma é $\leq \frac{1}{\tau}$. Basta que $p\,n\,(r = m)$ seja $\leq \frac{1}{\tau}$. Mas, como os valores de "r" são números inteiros e o valor de "r" que satisfaz exatamente a condição $\sum\limits_{r=\bar{r}=m+1}^{r=n} p\,n\,r = \frac{1}{\tau}$ é quasi sempre fracionário: — *Procura-se por tentativas o valor inteiro* $\bar{r}$ *que satisfaça à condição* $\rho \leq 1/2$ *e às condições* $p\,n\,(\bar{r} - 1 = m) > \frac{1}{\tau}$; $p\,n\,(\bar{r} = m + 1) < \frac{1}{\tau}$; $p\,n\,(\bar{r} - 1 = m) - \frac{1}{\tau}$ = *o mínimo positivo que possa ser encontrado para um dado valor de "n".* Êsse valor $\bar{r}$ dará o fator de projeto "m". — Vêr pág. 11, *1.º parágrafo e tabela 2 do folheto, para as três primeiras condições.*

Observação: — Um só valor de "r" pode satisfazer às três primeiras condições — [vêr cálculo sob n.º (2) $n = 6$ e $m = 3$); e ($n = 9$ e $m = 4$), exemplo dado para o caso $\rho < 1/2$] — para diversos valores de "n"; mas um só valor de "n" pode satisfazer às quatro condições para um dado $r = m$.

6) *Para determinar "n", tendo dado "m", sem efetuar a soma*

Empregando método análogo ao anterior, procurando o valor de "n" que para o valor dado de "m" satisfaça às condições: — $\rho \leq 1/2$; $p\,n\,(r) > \frac{1}{\tau}$; $p\,n\,(\bar{r} + 1) < \frac{1}{\tau}$; $p\,n\,(r - 1) - \frac{1}{\tau}$ = mínimo positivo que possa ser encontrado para um dado valor de "m"; *observa-se que numerosos valores de "n" satisfazem as três primeiras condições* — vêr o cálculo referido no n.º 5. Procura-se em seguida, dentre êsses valores de "n", qual o valor que satisfaz à condição

$$n\,(\overline{r} - 1) - \frac{1}{\tau} = \text{mínimo positivo.}$$

7) *Para facilitar o cálculo.*

a) Indica o Engenheiro Haroldo Jezler, autor do artigo na revista "Engenharia", n.º 82, de Junho de 1949, o emprêgo da relação dado por Roy B. Hunter na página 7 da publicação citada no n.º 4:

$$\text{II)} \qquad \frac{p\,n\,(r+1)}{p\,n\,r} = \frac{n-r}{r+1} \times \left(\frac{t}{T-t} = \beta\right) = \rho$$

Conhecido que seja p n r, a relação dará o valor de p n (r + 1) e vice versa, em têrmos de n, r, t e T.

Acrescenta o articulista a relação:

$$\text{III)} \qquad \frac{(n+1),r}{p\,n\,r} = \frac{n+1}{n+1-r} \times \frac{T-t}{T} = \alpha$$

b) Oferece o Engenheiro Haroldo Jezler outra forma para a equação dado por Roy B. Hunter na página 6 da publicação referida no n.º 4, substituindo a equação $p\,n\,r = C\,n\,r \left(\frac{t}{T}\right)^r \times \left(\frac{T-t}{T}\right)^{n-r}$,

por

$$p\,n\,r = C\,n\,r\,\alpha^n \beta^r$$

Essa transformação pode ser verificada como segue:

$$\left(\frac{t}{T}\right)^r \times \left(\frac{T-t}{T}\right)^{n-r} = \frac{\left(\frac{T-t}{T}\right)^n}{\left(\frac{T-t}{t}\right)^r} \times \frac{\left(\frac{t}{t-T}\right)^r}{\left(\frac{T}{t-T}\right)^r} = \left(\frac{T-t}{T}\right)^n \times \left(\frac{t}{t-T}\right)^r$$

e portanto, $p\,n\,r = C\,n\,r\,\alpha^n \beta^r$

As relações II e III podem ser verificadas de forma semelhante.

c) Focaliza ainda o Engenheiro Haroldo Jezler uma *relação importante*:

$$\text{IV)} \qquad \sum_{r+1}^{r=n} p\,n\,r < p\,n\,r \leq \frac{1}{\tau}$$

Relação essa que se realiza *quando*:

$$\frac{pn\,(r+1)}{p\;n\;r} \leq 1/2.$$

Essa relação foi indicada por Roy B. Hunter na página 8 da publicação citada no n.º 4, 1.º parágrafo, mas apenas implicitamente, pois afirma que:

$$\text{se} \quad p\,n\,(r=m) < \frac{1}{\tau} \quad \text{e se} \quad \rho \leq \frac{1}{2}, \quad \text{então} \sum_{r=m+1}^{r=n} p\,n\,r < \frac{1}{\tau}$$

mas sem fixar a relação

$$\sum_{r+1}^{r=n} p\,n\,r < p\,n\,r.$$

8) MARCHA DO CÁLCULO PARA DETERMINAR "*m*" PARA UM DADO VALOR DE "*n*".

a) Por tentativa procura-se um valor $\bar{r}$ de "r" que satisfaça à condição:

$$\boxed{p\,n\,\bar{r} > \frac{1}{\tau} > p\ n\ (r+1)}$$, empregando a equação

$$\boxed{p\,n\,r = C\,n\,r\,\alpha^{n}\,\beta^{r}}\,.$$

Onde $$\boxed{C\,n\,r = \frac{n\,(n-1)\,(n-2)\ldots a\ r\ \text{fatores}}{r\,1}}$$

$$\boxed{\alpha = \frac{T-t}{T} \quad \text{e} \quad \beta = \frac{t}{T-t}}$$

b) Determina-se o valor de $\rho = \dfrac{p\,n,\ r+1}{p\,n,\ r} = \dfrac{n-r}{r+1}\beta$, notando se $\rho < 1/2$ ou se $\rho > 1/2$.

Se $\rho < 1/2$, procura-se o valor de "m" como já foi indicado no n.º (5), **sem fazer a soma dos "p n r".**

Se $\rho > 1/2$, será necessário variar "r" e determinar os valores dos "p n r" e os valores de "ρ" até atingir o têrmo para o qual $\rho,\ r > 1/2 > \rho,\ (r+1)$, determinando assim êsse valor particular de $r + 1 = \bar{\bar{r}}$ **e fazendo a soma parcial dos "p n r".**

Emprega-se agora a relação:

$$\sum_{r=\bar{\bar{r}}+1}^{r=n} p\,n\,r < p\,n\,\bar{\bar{r}} < \frac{1}{\tau}$$

que autoriza a substituição do primeiro têrmo dessa expressão pelo segundo têrmo, quando se trate de verificar se

$$\sum_{r=\bar{r}=m+1}^{r=n} p\,n\,r \ \text{ é } \leq \frac{1}{\tau}\,.$$

Então:

$$\sum_{r=\bar{r}=m+1}^{r=n} p\,n\,r < \left[\sum_{r=\bar{r}=m+1}^{r=\bar{\bar{r}}} p\,n\,r + p\,n\,\bar{\bar{r}}\right] \leq \frac{1}{\tau}\,;$$

onde ambos os têrmos dentro do colchete já são conhecidos, pois os p n r, de $r = \bar{r}$ a $r = \bar{\bar{r}}$, foram inicialmente calculados.

Procura-se o valor inteiro de $\bar{r} = m + 1$, do qual resulte um valor dentro do colchete, que acuse o menor excesso sôbre $\frac{1}{\tau}$. Êsse valor de $\bar{r}$ dará o valor de "m"

9) MARCHA DO CÁLCULO PARA VERIFICAR O VALOR DE "*n*" PARA UM DADO VALOR DE "*m*".

Com o valor de "n" a ser verificado, calcula-se para o valor dado de "m", $p\,n\,\bar{r}$ e ρ; notando, se

$$p\,n\,r, \text{ é } < \frac{1}{\tau} \text{ e se } \rho = \frac{p\,n\,(\bar{r} = m + 1)}{p\,n\,(\bar{r} = m)} = \frac{n - \bar{r}}{\bar{r} + 1}\beta \text{ é } < \frac{1}{2}.$$

Se $\rho < 1/2$ *e* $p\,n\,(\bar{r} = m + 1) < \frac{1}{\tau}$ é necessário investigar quaes os valores de "n" que satisfazem a condição $p\,n\,(\bar{r} = m + 1) \leqq \frac{1}{\tau}$ e $p\,n\,(\bar{r} - 1 = m) - \frac{1}{\tau} =$ $=$ mínimo positivo.

Se $\rho > 1/2$, *mesmo com* $p\,n\,\bar{r} < \frac{1}{\tau}$, então será necessário calcular com o valor de "n" a verificar, os "p n r" e os "ρ", para valores crescentes de "r" a partir de $r = \bar{r} = m + 1$ até o têrmo que acuse $\rho \leqq 1/2$.

Chamando-se $\bar{\bar{r}}$ o valor de r que corresponde a êsse têrmo, será então feita a soma $\sum_{\bar{r}=m+1}^{r=\bar{\bar{r}}} p\,n\,r$. Feita a soma verifica-se, se é realizada a exigência:

$$\sum_{r=\bar{r}=m+1}^{r=n} p\,n\,r < \left[\sum_{r=\bar{r}}^{r=\bar{\bar{r}}} p\,n\,r + p\,n\,\bar{\bar{r}}\right] \leq \frac{1}{\tau};$$

onde

$$\sum_{r=\bar{\bar{r}}+1}^{r=n} p\,n\,r, \text{ foi substituido por } p\,n\,\bar{\bar{r}}, \text{ pois } p\,n\,\bar{\bar{r}} \text{ é maior do que}$$

$$\sum_{r=\bar{\bar{r}}+1}^{r=n} p\,n\,r, \quad \text{vêr n.° 5 e n.° 8 letra «b».}$$

Procura-se o valor de "n" do qual resulte o menor excesso do valor dentro do colchete sôbre $\frac{1}{\tau}$. *Êsse será o valor de "n".*

Assim, do que foi exposto, podemos acrescentar:

Segundo o método de Roy B. Hunter o valor procurado de "n", *tendo dado o valor de "m";* é aquêle do qual resulte a "probabilidade total" que, sendo inferior à taxa pré-fixada, mais se aproxime dela, podendo atingí-la.

Para conseguir êsse objetivo, estabeleceu o autor condições que asseguram aproximadamente êsse resultado, sem exigir a efetivação da soma dos "p n r", no caso de ser $\rho < 1/2$; mas exigindo a realização da soma parcial dos "p n r" no caso de ser $\rho > 1/2$.

Uma definição dêsse valor de "n" pode ser dada de forma diferente para cada um dêsses casos:

a) *Quando* $\rho < 1/2$:

1) O valor procurado de "n" é o *mais alto* valor de "n" dentre aquêles cuja "probabilidade total" seja igual ao inferior à taxa pré-fixada — 0.01 — neste caso. Esta definição é rigorosa, exige a efetivação da soma dos "p n r".

2) O valor procurado de "n" é o *mais baixo* valor de "n" dentre aquêles cujo "p n (r = m)" seja igual ou superior à taxa pré-estabelecida para a "pro-

babilidade total" — 0.01 — neste caso. Esta definição é menos rigorosa do que a anterior, mas não exige a efetivação da soma dos "p n r".

b) Quando $\rho > 1/2$:

1) Definição idêntica à primeira da letra (a), com a mesma exigência de efetivar a soma dos "p n r".

2) O valor procurado de "n" é o valor *mais baixo* de "n" dentro aquêles cuja soma parcial dos "p n r" a partir de "p n (r = m + 1)" a "p n $(r = \bar{\bar{r}})$", adicionada a "p n $(r = \bar{\bar{r}})$", acusem um total igual ou superior à taxa pré-fixada — 0.01 — neste caso. Esta definição é menos rigorosa do que a anterior, mas não exige a efetivação da soma dos "p n r".

EXEMPLOS DA DETERMINAÇÃO DE "n"

A seguir damos dois exemplos da determinação do valor de "n" que corresponde a um valor dado de "m", sendo um dêles para o caso em que o valor de $\rho < 1/2$ e outro para o caso $\rho > 1/2$.

Em ambos os casos foi empregado o método que corresponde à definição menos rigorosa de "n", isto é o método de Roy B. Hunter que evita a efetivação da soma dos p n r no primeiro caso e exige apenas a soma parcial no segundo caso.

Nota: — 1) No primeiro caso, ($\rho < 1/2$), para m = 4), se tivéssemos empregado o método que se enquadra na definição rigorosa de "n", o valor encontrado para "n" seria de 9 e não de 8 — como indicado no "Quadro".

2) *A divergência de 50%* acusada no "Quadro" para "m" = 3 é devida ao mesmo fato.

3) *Dados*: — $n = 9;\ m = 4;\ \alpha = 0.833;\ \beta = 0.2.$

Para n = 9

$$para\ r = 4 = m;\quad \text{p n r} = \frac{9.8\ldots6}{4!} \times (0.833)^5 \times (0.2)^4$$

$$[\log 6 \text{ a } 9 = 3.4806] - [\log 1 \text{ a } 4 = 1.3802] - [9 \times 0.07938] -$$

$$[4 \times 0.6990 = 2.7960] = 3.4806 - (1.3802 + 0.71442 + 2.7950) = -$$

$$- 1.4090 \sim \bar{2}.5910 \sim 0.03899$$

$$\left.\begin{array}{l} \text{p n r} = 0.03899 > 0.01;\quad \rho = \dfrac{9-4}{5} \times 0.2 = 0.2 < \dfrac{1}{2} \\ para\ r = 5;\quad \text{p n r} = 0.03899 \times 0.2 = 0.007798 < 0.01 \end{array}\right\} \therefore \text{ satisfaz}$$

$$\rho = \frac{9-5}{6} \times 0.2 = 0.1333 < 1/2$$

$$para\ r = 6;\quad \text{p n r} = 0.007798 \times 0.1333 = 0.00010395$$

$$\rho = \frac{9-6}{7} \times 0.2 = 0.0858$$

$$para\ r = 7;\quad \text{p n r} = 0.00010395 \times 0.0858 = 0.000009$$

$$\rho = \frac{9-7}{8} \times 0.2 = 0.05$$

$$para\ r = 8;\quad \text{p n r} = 0.000009 \times 0.05 = 0.00000045$$

$$\rho = \frac{9-8}{9} \times 0.2 = 0.0222$$

para $r = 9$; $p\,n\,r = 0.00000045 \times 0.022 = 0.000.000.0099$

$$\sum_{r=5}^{r=9} p\,n\,r = 0.007798 + 0.000104 + 0.000\,009 + 0.000\,000 + 0.000\,000 = 0.00791. < 0.01 \quad \therefore \quad \text{satisfaz.}$$

Para n = 8

para $r = 4 = m$; $p\,n\,r = 0.03899 \times \frac{5}{9} \times \frac{1}{0.833} = 0.02600 > 0.01$ satisfaz

$$\rho = \frac{8-4}{5} \times 0.2 = 0.1600 < 1/2$$

para $r = 5$; $p\,n\,r = 0.02600 \times 0.16 = 0.004160 < 0.01$

$$\rho = \frac{8-5}{6} \times 0.2 = 0.1 < 1/2$$

para $r = 6$; $p\,n\,r = 0.004160 \times 0.1 = 0.0004160$

$$\rho = \frac{8-6}{7} \times 0.2 = 0.0572$$

para $r = 7$; $p\,n\,r = 0.0004160 \times 0.0572 = 0.000'238$

$$\rho = \frac{8-7}{8} \times 0.2 = 0.025$$

para $r = 8$; $p\,n\,r = 0.0002380 \times 0.025 = 0.000\,0059$

$$\sum_{r=5}^{r=8} p\,n\,r = 0.004820 < 0.1; \quad \because \quad \text{Satisfaz}$$

Para n = 10

para $r = 5$; $p\,n\,r = 0.00779 \times \frac{10}{10.5} \times 0.833 = 0.01298 > 0.01$

$$\rho = \frac{10-5}{11} \times 0.2 = 0.0909 < 1/2$$

para $r = 4$; $p\,n\,r = 0.03899 \times \frac{10}{10-4} \times 0.833 = 0.0541 > 0.01$

$$\rho = \frac{10-4}{5} \times 0.2 = 0.24 < 1/2$$

$\because$ Não satisfaz

Para n = 7

para $r = 4$; $p\,n\,r = 0.02600 \times \frac{4}{8} \times \left(\frac{1}{0.833} = 0.12000\right) = 0.00156 < 0.01$

$$\rho = \frac{7-4}{5} \times 0.2 = 0.12$$

$\because$ Não satisfaz

Observações: — a) Os valores de p n (r = 4), para valores de "n" de 8 a 9 satisfazem às condições p n $(r = m = 4) > 0.01$ e p n $(r = m + 1 = 5) < 0.01$ e $\rho < 1/2$.

b) O valor de n = 10 não satisfaz à condição p n $(r = 5) < 0.1$;

c) O valor de n = 7 não satisfaz à condição p n $(r = 4) > 0.01$;

d) Dentre os valores de "n" que satisfazem às condições preliminares da letra (a), o que acusa o menor excesso de p n (r = 4) sôbre 0.01 é n = 8. *Assim o fator de projeto é n = 8.*

10) *$n = 132$; $m = 32$; $\alpha = 0.833$; $\beta = 0.2$.*

a) $$p\,n\,r = \frac{132.131 \ldots 100}{33!} \times 0{,}833)^{132} \times (0.2)^{33}$$

$$\begin{array}{lr} \log\ 100\ \text{a}\ 132 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & +\ 68.0785 \\ \log\ 1\ \ \text{a}\ \ 33 = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & -\ 36.9386 \\ \hline & 31.1399 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 132 \times (\log 0.833 = -\ 0.0794) = -\ 14.4808 \\ \ \ 33 \times (\log 0.2 \ \ \ = -\ 0.6990) = -\ 23.0670\ -\ 33.5478 \\ \hline \qquad\qquad\qquad \Sigma = -\ \ 2.4079 \sim \overline{3}.5921 \end{array}$$

$r = 33$;	$p\,n\,r = 0.00391 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ $\rho = \frac{132 - 33}{34} \times 0.2 = 0.583 > 1/2$	0.00	391
$r = 34$;	$p\,n\,r = 0.00391 \times 0.583 \ldots\ldots$ $\rho = \frac{132 - 34}{35} \times 0.2 = 0.561$	0.00	228
$r = 35$;	$p\,n\,r = 0.00228 \times 0.561 \ldots\ldots$ $\rho = \frac{132 - 35}{36} \times 0.2 = 0.539$	0.00	128
$r = 36$;	$p\,n\,r = 0.00128 \times 0.539 \ldots\ldots$ $\rho = \frac{132 - 36}{37} \times 0.2 = 0.519$	0.00	067
$r = 37$;	$p\,n\,r = 0.00067 \times 0.519 \ldots\ldots$ $\rho = \frac{132 - 37}{38} \times 0.2 = 0.5001 > 1/2$	0.00	035
$\overline{\overline{r}} = 38$;	$p\,n\,\overline{\overline{r}} = 0.00035 \times 0.5001 \ldots\ldots$ $\rho = \frac{132 - 38}{39} \times 0.2 = 0.483 < 1/2$	0.00	017
	$\sum_{r=33}^{r=38} p\,n\,r =$	0.00	866
	$p\,n\,(\overline{\overline{r}} = 38) =$	0.00	017
	$\sum_{r=m+1}^{r=n} p\,n\,r$	0.00	883 < 0.01

Observações: ∵ Satisfaz à condição de ser a soma $\sum_{r=\overline{r}+1=33}^{\overline{\overline{r}}=38} p\,n\,r\ +$
$+\ p\,n\,(\overline{\overline{r}} = 38) < 0{,}01$, mas não acusa excesso sôbre 0.01.

Assim, vejamos se "n" pode ser aumentado, mantendo o mesmo $m = 32$:

b) *Para $n = 133$; $m = 32$; $\alpha = 0.833$; $\beta = 0.2$.*

Empregando a relação III: $$\frac{p\,n + 1, r}{p\,n, r} = \frac{n + 1}{n + 1 - r} \times \alpha$$

$$\frac{p\,(n = 132 + 1), (r = 33)}{p\,(n = 132), (r = 33)} = \frac{133}{133 - 3} \times 0.833 = 1.1079$$

	$p\,n\,r = 0.00391 \times 1.1079 \ldots\ldots$	0.00	422
$r = 33;$	$\rho = \dfrac{133 - 33}{34} \times 0.2 = 0.588 > 1/2$		
	$p\,n\,r = 0.00422 \times 0.588 \ldots\ldots\ldots$	0.00	248
$r = 34;$	$\rho = \dfrac{133 - 34}{35} \times 0.2 = 0.566$		
	$p\,n\,r = 0.00248 \times 0.566 \ldots\ldots\ldots$	0.00	140
$r = 35;$	$\rho = \dfrac{133 - 35}{36} \times 0.2 = 0.544$		
	$p\,n\,r = 0.544 \times 0.00140 = \ldots\ldots$	0.00	076
$r = 36;$	$\rho = \dfrac{133 - 36}{37} \times 0.2 = 0.524$		
	$p\,n\,r = 0.00076 \times 0.524 = \ldots\ldots$	0.00	040
$r = 37;$	$\rho = \dfrac{133 - 37}{38} \times 0.2 = 0.505 > 1/2$		
	$p\,n\,r = 0.00040 \times 0.505 = \ldots\ldots$	0.00	020
$r = 38;$	$\rho = \dfrac{133 - 38}{39} \times 0.2 = 0.487 < 1/2$		
	$\sum\limits_{r=33}^{r=38} p\,n\,r =$	0.00	946
	$p\,n\,(\overline{\overline{r}} = 38) =$	0.00	020
	$\Sigma \ldots\ldots\ldots\ldots$	0.00	966

Observações: ∵ Satisfaz à condição

$$\sum_{r = \overline{r} + 1 = 33}^{\overline{\overline{r}} = 38} p\,n\,r + p\,n\,(\overline{\overline{r}} = 38) < 0.01,$$ mas não acusa excesso sôbre 0.01.

c) *Para $n = 134$; $m = 32$; $\alpha = 0.833$; $\beta = 0.2$*

$p\,n\,(r = 33) = \dfrac{134}{134 - 33} \times 0.8333 \times 0.00422 = \ldots\ldots$ 0.	00467
$\rho = \dfrac{101}{34} \times 0.2 = 0.5942 > {}^1/_2$	
$p\,n\,(r = 34) = 0.00467 \times 0.5942 = \ldots\ldots\ldots$ 0.	00277
$\rho = \dfrac{100}{35} \times 0.2 = 0.5715$	
$p\,n\,(r = 35) = 0.00277 \times 0.5715 = \ldots\ldots\ldots$ 0.	00158
$\rho = \dfrac{99}{36} \times 0.2 = 0.5501$	
$p\,n\,(r = 36) = 0.00158 \times 0.5551 = \ldots\ldots\ldots$ 0.	00087
$\rho = \dfrac{98}{37} \times 0.2 = 0.5298$	
$p\,n\,(r = 37) = 0.00087 \times 0.5298 = \ldots\ldots\ldots$ 0.	00046
$\rho = \dfrac{97}{38} \times 0.2 = 0{\cdot}51015 > {}^1/_2$	
$p\,n\,(r = 38) = 0.00046 \times 0.5105 = \ldots\ldots\ldots$ 0.	00023
$\rho = \dfrac{96}{39} \times 0.2 = 0.4924 < {}^1/_2$	
$\sum_{r=33}^{r=38} = \ldots$ 0.	01058
$p\,n\,(\bar{\bar{r}} = 38) =$ 0.	00023
$\Sigma = \ldots$ 0.	01081

Observações:

$$\sum_{r=\bar{r}+1=33}^{\bar{\bar{r}}=38} p\,n\,r + p\,n\,(\bar{\bar{r}} = 38) < 0.01 .$$

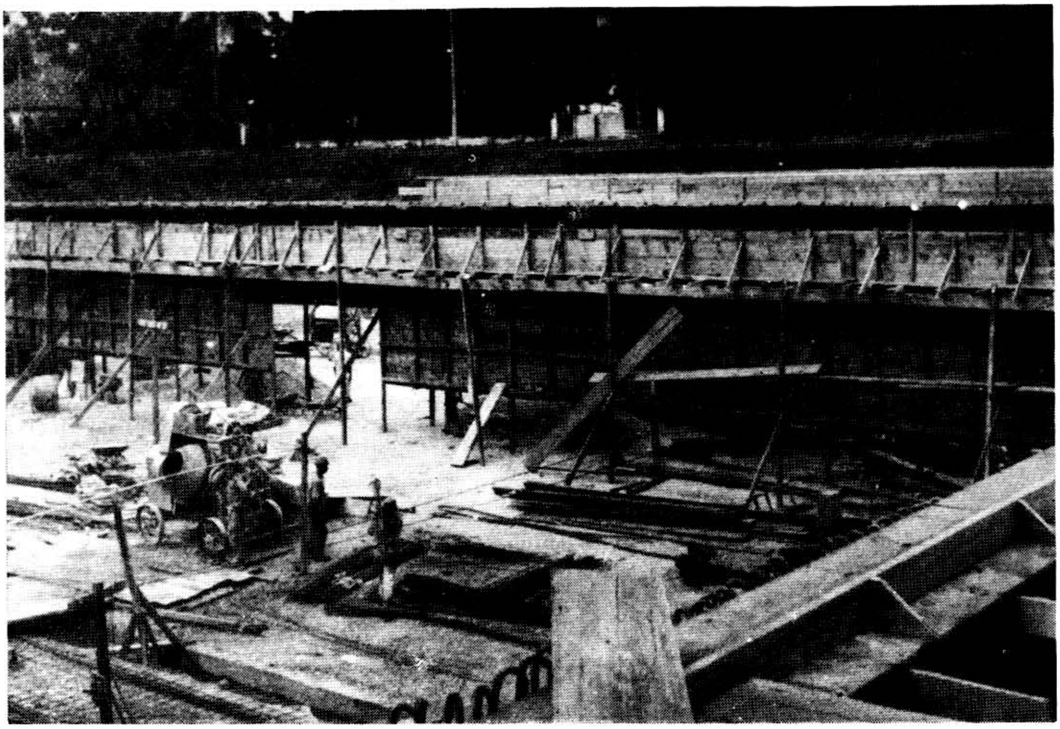
$\because$ O valor de $n = 134$ é o número inteiro do qual resulta o menor excesso da soma $\sum_{r=\bar{r}+1=33}^{\bar{\bar{r}}=38} p\,n\,r + p\,n\,(\bar{\bar{r}} = 38)$ sobre 0.01 — *é o valor procurado,* pois valores mais altos de "n" acusarão maiores excessos.

Referência:

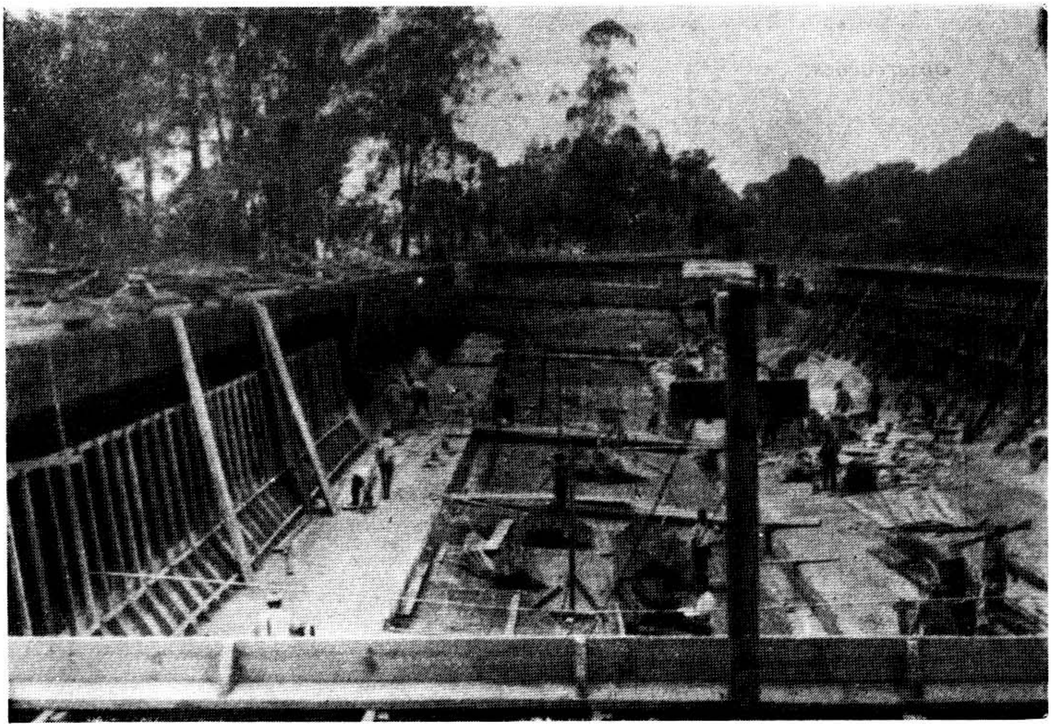
Devo acrescentar que o Eng. Archimedes Azevedo, dêste D.A.E. havia chamado minha atenção para o fato de a um dado valor de "m" poderem corresponder diversos valores de "n".

NOVA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DO ALTO DA BOA VISTA

Capacidade inicial: $2m^3/seg$



Execução da parede lateral com altura útil de 5,00 m



Outro aspeto da execução das estruturas do decantador