

Contrôle de Potabilidade da Água do Sistema Distribuidor de São Paulo

SINOPSE

No presente trabalho foi desenvolvida uma sistemática de controle bacteriológico de água em sistemas de distribuição, tendo-se em vista o problema do cálculo de estimadores que forneçam uma imagem fiel das condições da rede de distribuição. A sistemática consiste em uma Amostragem Estratificada dos resultados de análises bacteriológicas executadas em pontos que traduzem realmente o comportamento global da rede.

Fundamenta-se nas experiências obtidas pelo Sub-Sector de Coletas e Exames Bacteriológicos do CETESB, no controle da qualidade da água distribuída na rede de São Paulo.

INTRODUÇÃO

Uma coleta pura e simples de amostras d'água dentro de uma cidade, não leva frequentemente a resultados concretos e nem estabelece uma norma para investigações sanitárias. Há necessidade de um estudo estatístico que vise a um controle eficiente do sistema distribuidor, para preservar a saúde pública.

Um sistema de amostragem estatística, orientado em relação aos vários fatores que influem nas condições do sistema distribuidor, pode fornecer estimadores concretos da situação global de potabilidade da água consumida. Concomitantemente serão evidenciados os focos de maior grau de poluição para que as autoridades competentes desloquem recursos para sanar, o mais rápido possível, as anomalias detectadas.

O sistema de amostragem desenvolvido neste trabalho é uma ferramenta de que o sanitarista poderá lançar mão para efetuar um controle com rigor matemático do sistema distribuidor, desde que os pontos escolhidos para coleta sejam significativos.

Estes pontos foram estabelecidos segundo a experiência do órgão de coleta de amostras e exames bacteriológicos do CETESB, em São Paulo.

Estão diretamente relacionados com os locais onde existe maior probabilidade de contaminação.

A sistemática desenvolvida não visa somente a estabelecer uma norma de medidas, mas um processo associativo entre causas e efeitos, correlacionando os focos de poluição com os fatores que os ocasionarem. Em matéria de ação sanitária esta correlação é de alto valor, pois liga diretamente a parte teórica de determinações de laboratório com a parte prática, de ação imediata.

ETAPAS DE UM LEVANTAMENTO POR AMOSTRAGEM

1 — Objetivo do levantamento

— controle da qualidade da água distribuída à população, através da rede, para a preservação da saúde pública e ao mesmo tempo possibilitando a localização de possíveis focos de poluição.

2 — População a ser amostrada

— pontos da rede onde existe possibilidade de acesso imediato para a coleta de amostras, assim como os pontos de entrada e saída de água dos reservatórios.

3 — Dados a serem coligidos

- a) N.M.P. de coliformes resultante do exame bacteriológico, presuntivo e de confirmação;
- b) cloro residual (teor);
- c) pressão dinâmica da rede no ponto de amostragem (quando isto fôr necessário).

4 — Grau de precisão desejado

O grau de precisão do processo está ligado ao número de amostras coletadas, que por sua vez, está condicionado a fatores econômicos.

No anexo I está indicado o mínimo de amostras em função da densidade populacional, que deverá ser reavaliado em função dos resultados obtidos depois da implantação do processo, tendo em vista as condições encontradas nos sistemas distribuidores.

5 — Métodos de mensuração

Os métodos de mensuração das variáveis assinaladas são:

- variável (a) — N.M.P. — Tubos múltiplos;
- variável (b) — existência de cloro residual — comparador colorimétrico;
- variável (c) — pressão dinâmica — com manômetros.

6 — Escolha das unidades amostrais

Será utilizada a seguinte partição do conjunto de pontos do sistema distribuidor:

a) reservatórios

- unidade I — entrada do reservatório
- unidade II — saída do reservatório

b) rede

- unidade I — pontos que estão mais sujeitos à poluição. Foram classificados dentro desta unidade os seguintes pontos:

$$V_1 \left\{ \begin{array}{l} P_1 — pontos de baixa pressão; \\ P_2 — pontos de manobra; \\ P_3 — pontos de fim de rede. \end{array} \right.$$

— unidade II — pontos genéricos da rede:

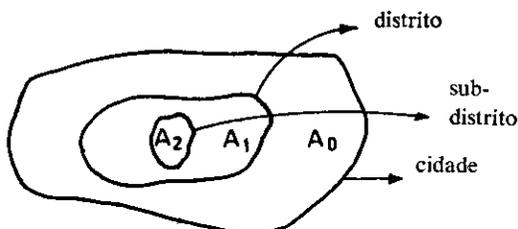
$$V_2 \left\{ \begin{array}{l} P_4 — pontos de pressão igual ou menor à mínima exigida no dimensionamento; \\ P_5 — pontos não incluídos nos sub-grupos P_1 , P_2 , P_3 e P_4 . \end{array} \right.$$

O estudo será feito por meio de sub-conjuntos do conjunto que constitui toda a rede de água da cidade.

Os sub-conjuntos são os distritos, que por sua vez são constituídos do agrupamento de sub-distritos.

Esquemáticamente:

$$P_1 \in A_2 \in A_1 \in A_0$$



7 — Orientação no trabalho de campo

Os trabalhos a serem executados nas coletas, obedecerão às técnicas preconizadas pelos Métodos

Padrões da A.W.W.A., e ainda a avaliação do teor de cloro residual e a medida de pressão, quando necessária.

8 — Apresentação de resultados

Serão apresentados sob três formas:

I) memorandos enviados a entidades que controlam o sistema distribuidor, resultantes da seguinte sistemática de exames e interpretações:

1 — Exame bacteriológico presuntivo:

diluição em cinco tubos, segundo os Métodos Padrões da A.W.W.A.

— interpretação:

1 tubo positivo: aguardar 24 horas para efetuar nova coleta;

2 ou mais tubos positivos: enviar memorando de ação imediata.

2 — Exame bacteriológico confirmatório

Se forem constatados 2 ou mais tubos positivos na segunda amostra colhida (devido o primeiro exame ter acusado 1 tubo positivo): enviar memorando de ação imediata.

Se nesta segunda amostra obtivermos 1 tubo positivo, faz-se o exame confirmativo. Constatando-se a presença de bactérias do grupo coli: enviar memorando de ação imediata.

Nível de acumulação e tratamento de dados

São considerados positivos e codificados os seguintes resultados:

1 — tubo positivo com confirmação;

2 — ou mais tubos positivos sem confirmação.

Os resultados positivos e negativos são codificados (01 e 00) e assinalados no estrato correspondente para o posterior tratamento estatístico.

II) tabelas e mapas semanais da situação da rede — fornecidos diretamente pelas unidades de de processamento de dados.

III) relatórios mensais evidenciando uma situação média global da rede durante o mês, assim como uma prestação do custo das atividades no período (se necessário).

PROCESSO DE AMOSTRAGEM A SER UTILIZADO

Conforme o que foi exposto anteriormente, o processo de amostragem que oferece melhor colagem

com o problema em questão é o da **AMOSTRAGEM ESTRATIFICADA.**

1 — O porquê da utilização deste processo

Da análise do problema chegamos à conclusão de que a população em estudo poderia ser classificada segundo um critério que a divide em três grandes grupos de pontos:

grupo I — pontos em que existe maior probabilidade de contaminação.

grupo II — pontos genéricos da rede — não enquadrados na categoria anterior

grupo III — pontos de entrada e saída de reservatórios.

No **grupo I** teríamos especificamente os pontos com uma (ou todas) das seguintes peculiaridades:

— pontos de **baixa pressão** (onde os valores da pressão caem abaixo daquele estabelecido como mínimo — 15 metros de coluna de água);

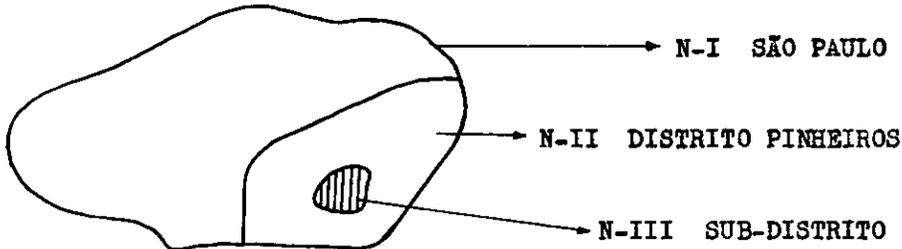
— pontos de **manobras** (sujeitos a vazamento);

— pontos de fim de rede (pontas secas).

No **grupo II** teríamos os demais pontos da rede não enquadrados em nenhum dos sub-grupos anteriores. Estes pontos seriam designados previamente por meio de um critério, cujo objetivo seria o de distribuí-los homogêneamente de tal maneira que fornecessem uma cobertura razoável da região em estudo.

No **grupo III** temos um conjunto de pontos de reservatórios.

Tendo em vista o exposto anteriormente, podemos dizer que dentre os modelos matemáticos de amostragem, o sistema de **ESTRATIFICAÇÃO** é o mais interessante, pois nos foi possível dividir uma população heterogênea em sub-populações dentro de cada uma das quais há homogeneidade.



nº 80

Se cada estrato é homogêneo, uma estimativa precisa de cada média de estrato pode ser obtida por meio de uma pequena amostra do respectivo estrato. Estas estimativas podem ser então combinadas numa estimativa de toda a população.

2 — Sobre a formação dos estratos

Da maneira geral a precisão aumenta com o número de estratos. Na falta, ainda, de dados concretos sobre a diferenciação dos elementos de cada estrato, com relação a índices de potabilidade, partir-se-á de um determinado número de estratos cujas diferenças são perfeitamente caracterizadas. Conforme se obtiver maior quantidade de dados, eles serão agrupados ou divididos de maneira a se obter um nível de precisão maior.

Os estratos que constituirão nosso campo amostral serão:

H₁ — **estrato 1:** pontos de baixa pressão;

H₂ — **estrato 2:** pontos de manobras;

H₃ — **estrato 3:** pontos de fim de rede;

H₄ — **estrato 4:** pontos genéricos de cobertura e de reservatório.

Com esta estratificação garantimos uma cobertura completa da nossa população.

3 — Sobre a divisão territorial da população em estudo

Dependendo do nível populacional urbano da cidade em estudo, poderemos ter um grau maior ou menor de sub-divisões territoriais. Utilizaremos três níveis:

nível I — cidade

nível II — distrito

nível III — sub-distrito

Relação população-nível:

— até 10.000 habitantes — nível I

— de 10.000 a 500.000 habitantes - níveis I e II

— maior de 500.000 habitantes - níveis I, II e III

Exemplo:

4 — Sobre a escolha dos pontos

— **estrato 1:** pontos de rede de baixa pressão:

Os pontos de baixa pressão seriam detectados inicialmente por fatores que favorecem esta condição:

- pontos altos;
- pontos afastados de reservatórios;
- pontos em que existe descontinuidade de abastecimento;
- outros fatores que concorrem para uma baixa pressão.

Desde que escolhido, o ponto de coleta sofreria uma ou várias medidas de pressão. Se constatada uma pressão inferior à estabelecida como mínima, o ponto seria assinalado e codificado.

— **estrato 2: pontos de manobra:**

Localizados pela planta da rede e assinalados.

— **estrato 3: pontos de fim de rede:**

Localizados pela planta da rede e demarcados inicialmente. Depois deve ser efetuada uma triagem para reduzi-los a um número que cubra de maneira razoável a região em estudo.

— **estrato 4: pontos genéricos da rede:**

Levando-se em conta que os pontos anteriores deixaram áreas descobertas, neste estrato escolhemos um conjunto de pontos que cubra satisfatoriamente a rede e todos os pontos de entrada e saída dos reservatórios.

5 — Sobre a determinação do número de pontos de cada estrato dentro de uma região

Sendo

N_h — número total de unidades do estrato

n_h — número de amostras no estrato

$$\sum_{h=1}^L N_h = N \text{ (população)}$$

$$\sum_{h=1}^L n_h = \text{(total de amostras)}$$

$$f_h = \frac{n_h}{N_h} \text{ (fração de amostragem do estrato)}$$

onde:

h = indica o estrato

i = unidade dentro do estrato

L = número de estratos

Processo a ser seguido:

- dentro de cada distrito, em função da densidade habitacional, fixa-se um valor para N.
- fixado N, efetua-se a partição do conjunto em estratos, obtendo-se valores dos N_h .

Esta participação seguirá um critério explicado no **anexo II** do presente trabalho. Ex:

Estabelecido um valor de 160 para N, e a seguinte partição dos N_h :

$$N_{h_1} = 80 \text{ (baixa pressão)}$$

$$N_{h_2} = 10 \text{ (de manobra)}$$

$$N_{h_3} = 50 \text{ (fim de rede)}$$

$$N_{h_4} = 20 \text{ (genéricos)}$$

$$N = 160$$

— fixa-se agora o valor de f_h :

$$f_{h_1} = 60\%$$

$$f_{h_2} = 30\%$$

$$f_{h_3} = 30\%$$

$$f_{h_4} = 70\%$$

Logo:

$$n_{h_1} = N_{h_1} \times f_{h_1} = 80 \times 0,60 = 48$$

$$n_{h_2} = N_{h_2} \times f_{h_2} = 10 \times 0,30 = 3$$

$$n_{h_3} = N_{h_3} \times f_{h_3} = 50 \times 0,30 = 15$$

$$n_{h_4} = N_{h_4} \times f_{h_4} = 20 \times 0,20 = 12$$

$$\sum_{h=1}^L n_h = 48 + 3 + 15 + 12 = 78 \text{ amostras}$$

O critério para o estabelecimento de valores de f_h , constam do anexo I.

6 — Sobre o critério a ser utilizado no sorteio dos pontos.

São escolhidos dentro de cada estrato, um número de pontos de coleta igual ao valor de N_h , de tal maneira que os pontos a serem assinalados cubram da forma mais homogênea possível o espaço amostral físico estabelecido. Feita a demarcação, os pontos são assinalados, codificados e associados a uma variável aleatória que irá sofrer um sorteio futuro, conforme um critério a ser explicado adiante.

Os pontos do estrato 4 devem ser assinalados com mais cuidado, pois visam exatamente a preencher os espaços desprotegidos pelos outros estratos e garantir a aleatoriedade da amostragem.

— **o sorteio:**

O sorteio dos pontos a serem amostrados em determinado dia é feito da seguinte maneira:

- toma-se um estrato;

- efetua-se um sorteio com reposição;
- marca-se os pontos a serem coletados.

Depois passa-se a outro estrato aplicando raciocínio idêntico.

7 — Sobre o cálculo dos estimadores das estatísticas da região

Seja $y = \text{N.M.P. de coliformes, por 100 ml}$
Cálculo da média amostral:

$$\bar{y}_b = \frac{\sum_{j=1}^{n_b} y_{b_j}}{n_b}$$

média populacional

$$\bar{Y}_h = \frac{\sum_{i=1}^L y_{h_i}}{N_h}$$

I) o estimador da média populacional é:

$$\bar{y}_c = \frac{\sum_{h=1}^L N_h \times \bar{Y}_h}{N}$$

a estimativa \bar{y}_c em geral, não é igual à média amostral

$$\bar{y}_c = \frac{\sum_{h=1}^L n_b \bar{y}_h}{n}$$

É evidente que \bar{y} coincidirá com \bar{y}_c se em cada estrato:

$$\frac{n_b}{n} = \frac{N_b}{N} \quad \text{ou} \quad \frac{n_b}{N_b} = \frac{n}{N}$$

Isto significa que a fração de amostragem é a mesma em todos os estratos; esta estratificação é descrita como **estratificação com partilha proporcional**.

II — estimativa da variância da média amostral

Os quadrados médios dos estratos S_b^2 podem ser estimados por:

$$S_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} (y_{b_i} - \bar{y}_b)^2}{n_b - 1}$$

Com amostragem casual estratificada, um estimador não viciado da variância de \bar{y}_c é:

$$\sigma^2 \bar{y}_c = S^2(\bar{y}_c) = \frac{1}{N^2} \sum_{h=1}^L N_h (N_h - n_b) \frac{S_h^2}{n_b}$$

Sendo $S^2(\bar{y}_c)$ um estimador da variância da média da população.

III — limites de confiança

Para a estimação da média populacional:

$$\bar{y}_c \pm t \cdot S(\bar{y}_c)$$

Observação: admite-se que \bar{y}_c seja normalmente distribuída e que $S(\bar{y}_c)$ seja bem determinado, de modo que o fator t possa ser dado pelo ξ da distribuição normal.

Se o número de graus de liberdade (= número de amostras colhidas) fôr pequeno para cada estrato, o procedimento para exprimir o erro de amostragem $t \cdot S(\bar{y}_c)$ é ler o valor de t na tabela de distribuição "t" de Student, em lugar de fazê-lo na tabela normal.

8 — Sobre o intervalo de tempo para o acúmulo de dados suficientes para a estimação das estatísticas

O cálculo das estatísticas é **semanal**.

A apreciação dos resultados pode ser **mensal** como efeito demonstrativo, mas sempre **semanal** como efeito de visualização das condições da rede e de uma melhoria resultante das **ações sanitárias** tomadas em função dos memorandos emitidos.

SUMMARY

This work is the development of a systematics for bacteriological control of potable waters in distribution systems, considering the problem of calculating values able to furnish a real image of the conditions of the system.

The systematics consist of stratified sampling of the results of bacteriological analysis done on points representing the situation of the system as a whole.

ANEXO I

JUSTIFICAÇÃO DO CRITÉRIO DE PARTIÇÃO UTILIZADA NA AMOSTRAGEM POR ESTRATO

Quando uma rede funciona de maneira intermitente, (como em São Paulo) depois de fixado o número N de pontos a serem assinalados no Distrito, efetua-se uma **partilha proporcional** de tal maneira, que, dentro de cada estrato haja um mesmo número de pontos.

Quanto à fração de amostragem, isto é, os percentuais de N_h , devem ser iguais e tais que produzam uma somatória dos N_h igual ao número de amostras a serem coletadas por mês, conforme a Tabela I:

TABELA I

NÚMERO DE COLETAS MENSAS NECESSÁRIAS

População	N.º de amostras mensais
2.500	1
2.500 a 10.000	7
10.000 a 25.000	25
25.000 a 100.000	100
100.000 a 1.000.000	300
1.000.000 a 2.000.000	390
2.000.000 a 5.000.000	500

Tabela retirada do "Drinking Water Standard" do "Public Health Service".

O valor de N pode ser determinado, multiplicando-se os valores da tabela acima por 4, 5, 6, etc. conforme a densidade populacional do distrito em questão.

O critério de ponderação mais adequado surge dos primeiros valores obtidos pela amostragem, onde é possível identificar o grau de importância de cada fator e ponderá-lo segundo este grau.

O processo de ponderação vai se auto-refinando à medida que são obtidos resultados em um maior número de amostras.

3 — pontos de manobras (sujeitos a vazamentos);

4 — reservatórios;

5 — pontos de cobertura, marcados em áreas que ficam descobertas por não possuírem nenhum dos pontos anteriormente citados.

Procurou-se, dentro do possível, fazer coincidir os pontos escolhidos com locais públicos, como hospitais, escolas, postos de gasolina e bares, em virtude da facilidade de acesso.

ANEXO II

CONTRÔLE DE POTABILIDADE DA ÁGUA EM S. PAULO

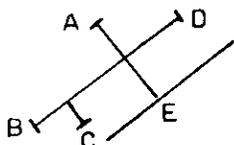
Pontos significativos de coleta (estratos)

Consideram-se significativos:

1 — pontos altos;

2 — pontos de baixa velocidade — fim de rede — (onde há possibilidade de depósitos de materiais em suspensão).

Devido ao grande número desses pontos utilizou-se o seguinte processo de triagem:



E — ponto escolhido, representativo do conjunto de pontos finais de rede: A, B, C, D

Divisão em zonas

A cidade de S. Paulo foi dividida em 9 zonas que correspondem às Regionais do D.A.E.

Cada zona, para efeito de amostragem, foi considerada como uma cidade com sua particular densidade demográfica.

Número de coletas

Conforme a tabela do anexo I, para uma população de aproximadamente 3.500.000 habitantes, está fixado um mínimo de 500 amostras mensais.

Na fase atual, de implantação do plano, o CETESB examina 70 amostras diárias, o que dá um total de cerca de 1.500 amostras mensais. No segundo semestre deste ano de 1969, o número de exames será aumentado, de modo a se obter uma amostragem mais representativa do sistema distribuidor.

Sorteio

É sorteada a primeira zona a ser coletada no primeiro dia do mês. Nos dias subsequentes observa-

se a ordem numérica das zonas, estabelecida "a priori".

Em cada zona foram marcados diversos roteiros a serem percorridos pelas viaturas encarregadas das coletas. Cada roteiro contém pontos de todos os estratos identificados anteriormente.

Para um determinado dia é feito um sorteio dos roteiros a serem percorridos.

Diariamente a coleta se processa em uma única zona e, dessa maneira, a cidade é coberta de novo em nove dias.

Exames efetuados

- bacteriológico,
- turbidez, —
- pH, e
- cloro residual.

Constatações de campo

- falta d'água,
- temperatura média do dia,
- chuvas nas últimas 24 horas,
- rompimento de tubulações e obras nas proximidades do ponto,
- pressão e
- hora da coleta.

Armazenamento e tratamento de dados

No exame bacteriológico são considerados positivos os seguintes resultados:

- 1 — tubo positivo com confirmação.
- mais de 1 tubo positivo sem confirmação.

Cada percurso possui uma ficha onde se encontram discriminados todos os pontos de coleta e um espaço reservado para o lançamento dos resultados obtidos (Ficha I).

Depois de preenchida, esta ficha é encaminhada ao Setor de Processamento de Dados, que transfere os resultados para outra ficha (Ficha II) onde eles são acumulados para cada ponto de coleta, separadamente.

Estas fichas servem simultaneamente para arquivar dados e fornecer elementos a um posterior tratamento por meio de computação eletrônica.

Procedimento

I) Imediatos

No caso do exame bacteriológico fornecer resultados positivos é enviado um memorando de alerta ao D.A.E para ação imediata.

II) Posteriores

- cálculo mensal dos estimadores que evidenciam as condições globais do sistema distribuidor;
- elaboração mensal de mapas e gráficos, mostrando a situação em bairros das diversas zonas;
- elaboração mensal de relatórios contendo os serviços executados e recomendações que possam melhorar a qualidade da água distribuída.

III) Triagem de pontos de coleta

Da evidência de uma maior ou menor incidência de resultados positivos em uma região poder-se-á adicionar ou eliminar pontos de coleta.

IV) Correlações entre causas e efeitos

São efetuados estudos de correlação entre as constatações de campo e os níveis de poluição observados nas análises.

Esta correlação visa evidenciar os fatores mais ligados com os níveis de poluição para que os órgãos competentes, dirijam seus recursos no combate às causas prioritárias.

Resultados obtidos

Como o plano se encontra em fase inicial de implantação, os resultados das análises são em número reduzido, o que não nos permite concluir sobre as correlações citadas no item anterior, bem como sobre os estratos que apresentam maior índice de contaminação.

Entretanto, podemos afirmar que houve uma redução desse índice na rede, bem como foi possível indicar certos locais da mesma, que apresentavam defeitos. De qualquer forma, a ação prática do plano, se fez sentir, pois houve um aumento considerável no consumo de cloro utilizado pelo D.A.E., a partir deste ano.

FICHA N.º 2

MÊS	CÓDIGO												
	DIA	POS./NEG.	N.M.R.	Nº TUB. †	C/RESID.	P.H.	FAL. AG.	CHUYA	TEMP. MED.	ROMPIM.	OBRAS	PRESSÃO	HORA
JAN.													
FEV.													
MAR.													
ABR.													

RUA _____ DISTRITO _____
 CARAC. LOCAL _____ BAIRRO _____ COD. _____