

Ensaio sôbre o Cálculo dos Ventiladores

Eng.º JOÃO VELOSO ANDRADE

APRESENTAÇÃO

Em dezembro de 1947, foi publicada a 1.ª edição desde trabalho, com a seguinte introdução:

...Observações e experiências levaram o Autor à conclusão que, pelos moldes dos atuais regulamentos de Águas e Esgotos do País, em muitos projetos são exigidos ventiladores em excesso ao passo que outros, que demonstram pela prática absoluta necessidade desses dispositivos de segurança, êles silenciam a respeito. Isto devido, principalmente, ao fato de até hoje não ter aparecido na literatura-técnica, pelo menos que tenhamos notícia, um processo racional para o cálculo de ventiladores dos esgotos. É êste o propósito do Autor.

Entretanto, por motivos que não discutiremos agora, aquela edição, que saiu publicada numa das revistas de Arquitetura da época, foi muito condensada, inclusive suprimindo-se exemplos esclarecedores, razão porque não foi compreendida, salvo por alguns colegas excepcionais, entre êles cumprindo salientar o meu velho amigo Mauro Garcia. Houve mesmo quem afirmasse que o estudo estava errado, não merecendo portanto maior atenção. Logo em seguida, também por razões que não importam, deixei de me dedicar às instalações sanitárias domiciliares, passando a cuidar de outros ramos da Engenharia, o que me furtou o tempo necessário para uma discussão em profundidade da matéria. Assim, o tempo foi se passando, mas hoje resolvi retomar o problema, que julgo de muita importância para a Engenharia Sanitária, sugerindo mesmo uma revisão das Normas Técnicas para instalações sanitárias domiciliares.

PREÂMBULO

Já houve tempos em que o Gabinete Sanitário era uma peça da casa da qual o dono se envergonhava. Em geral seu estado higiênico e estético deixava muito a desejar, sendo frequentemente foco de mûscas e outras imundícies. Por isso, os arquitetos tratavam de colocá-lo num canto escondido do edifício, a fim de ficar "pouco devassado".

Com o correr dos anos e o progresso da higiene das habitações, tal mentalidade mudou por completo, a ponto de ser hoje em dia um dos cômodos mais luxuosos do prédio. Há mesmo arquitetos ousados, como o meu amigo H. B., que gostam de projetá-lo ligado a uma sala ou "living" porque, dizem, as suas côres claras e alegres, formam um contraste artístico com a decoração mais áustera da outra peça, no momento em que a porta é aberta.

Mas deixemos de lado estas emoções de artista. O que realmente não se admite numa casa moderna é qualquer mancha ou odor no gabinete sanitário: êle deve ser a peça mais bela e aseada da edificação.

Ora, os aparelhos sanitários são as extremidades dos tubos de esgôto. Portanto, qualquer desarranjo ou obstrução nestes, virá fatalmente afetar o gabinete sanitário e a cozinha, com reflexo no estado higiênico da casa inteira. Daí decorre a necessidade, num edifício moderno, de estar sempre a instalação de esgôto das águas servidas em perfeito estado de funcionamento: os tubos devem dar vazão integral ao líquido, e apresentar internamente um aspecto tão limpo quanto possível.

Isto só se pode obter com um cálculo perfeito das canalizações. Todavia, paradoxalmente, entre tôdas as instalações elétricas ou sanitárias dos prédios, aquela cujo estudo científico se acha mais atrasado é a rêde de esgotos. De fato, o que geralmente se faz com o nome de "Cálculo das Instalações Sanitárias", nada mais é que a aplicação de meia dúzia de regras empíricas, que não encontram apôio algum nas leis da física.

Para êste estado de coisas muito concorreu um fato singular que se passa nas tubulações de esgôto: nelas temos o movimento simultâneo de dois fluidos, o líquido e o gás dos esgotos. Afim de que a instalação funcione bem, é necessário que o movimento de ambos seja perfeitamente controlado e sobretudo, que a pressão interna do gás não ultrapasse limites perniciosos.

Êste fato, virgem na mecânica dos corpos deformáveis, ainda agravado pela extrema irregularidade do movimento do líquido nos tubos verticais

(que constituem maioria nos prédios) impediu que se formasse, até hoje, uma teoria matemática a respeito⁽¹⁾. Experiências foram feitas, especialmente há quatro décadas na Universidade de Illinois, U. S. A., das quais resultou o "Hoover Report", (vide Babbitt pág. 235 e seguintes) que é o guia para a elaboração de quase todos os códigos americanos. O que faltou aos nossos vizinhos do norte foi uma pessoa de espírito sintético, capaz de interpretar matematicamente abundantes experiências levadas a efeito, formando assim uma teoria científica que nos desse métodos exatos de cálculo. Esta lacuna é que precisamos preencher.

J. V. A.

PRELIMINARES

Para qualquer edifício, por maiores que sejam suas dimensões, nunca se exige (salvo por motivos alheios à técnica, como economia, estética, construção, etc.), mais que uma ligação de água, de gás, de esgoto, de eletricidade, enfim, de abastecimento ou drenagem de qualquer fluido. E dessa conexão única com o exterior, partem quantas ramificações sejam necessárias para servir todos os pontos de demanda do imóvel.

Entretanto, os tubos de ventilação não podem ser interligados, apresentando qualquer edifício de maiores proporções, o aspecto anti-econômico e anti-estético de uma porção de canos saindo assimetricamente do telhado e prolongando-se até certa altura. Outros construtores, menos cautelosos (coisa hoje permitida em São Paulo) terminam os tubos de ventilação abaixo do telhado, afim de salvar o lado estético do prédio.

Mas não nos podemos esquecer que os canos de esgotos, mal grado todo o cuidado higiênico, são veiculados de gases pútridos, insetos e às vezes, até de roedores, não sendo pois de forma alguma aconselhável sua abertura dentro do prédio.

Por outro lado — fato mais importante ainda — os regulamentos vigentes em todo o país, recomendam o uso de ventiladores auxiliares, geralmente conhecidos como tubos de "ventilação paralela", porém são incapazes de justificar a sua necessidade.

Ora, a finalidade deste trabalho é apontar os casos em que a ventilação auxiliar é mesmo necessária, como pode ser dispensada mediante aumento equivalente na seção dos tubos de queda ou colunas de água, e mostrar que **PODEM SER LIGADOS TODOS OS TUBOS DE VENTILAÇÃO DE QUALQUER EDIFÍCIO**, fazendo-se uma única saída acima do telhado, sem que a segurança da instalação seja absolutamente afetada.

1.ª PARTE

PROBLEMA GERAL DA VENTILAÇÃO

Hipóteses Preliminares

Antes de enunciarmos o problema geral da ventilação dos tubos de esgoto das águas servidas domiciliares, precisamos fazer algumas hipóteses simplificadoras.

Eias se resumem em três:

- 1.ª — O líquido de esgoto tem as características da água pura e é invariável;
- 2.ª — O gás de esgotos tem as características do ar puro e é invariável;
- 3.ª — Os tubos de esgoto são todos cilíndricos.

Pela primeira hipótese supomos que a temperatura da água seja constante e de 15°C, bem como, que as gorduras e outras substâncias dissolvidas, e as partículas em suspensão, não alterem substancialmente as suas propriedades físicas, isto é, a densidade e viscosidade. Além disso, supomos que não sejam lançados corpos sólidos de dimensões apreciáveis, tais como sementes de certas frutas, ossos de galinhas e outros.

Pela segunda hipótese, supomos que a temperatura e pressão do gás sejam constantes, àquela de 15°C e esta de 700mm Hg. Isto importa em admitir que a formação de gases nos esgotos seja desprezível, ou melhor, incapaz de produzir correntes aéreas, bem como alterar a temperatura, densidade e viscosidade do gás (ar). A densidade do ar supomos de 1.120gr/l, levando-se em conta a umidade; e a viscosidade de 0.0181 centipoises, segundo Walworth. Além disso, supomos que não haja duas colunas próximas com grande diferença de altura, como mostra a fig. 2, caso em que se estabelecerá uma corrente de ar no sentido da seta "a", sempre que as colunas internamente estiverem mais aquecidas que o ar externo e no sentido de "b", em caso contrário. Com 50m de diferença de altura entre as colunas, a corrente de ar já pode atingir valor sensível, conforme observei⁽²⁾.

Também supomos que a altura dos edifícios não seja exagerada, caso em que não se pode admitir a densidade e temperatura do ar como invariáveis, o

(1) Seria interessante fazerem-se experiências de movimento da água nas colunas de esgoto, estudando as pressões resultantes nos diversos casos, afim de nos certificarmos até que ponto as hipóteses feitas no texto concordam com a realidade.

(2) Na realidade estas correntes não têm grande influência no funcionamento do esgoto, desde que a depressão do ar não atinja valores perigosos, o que aliás é praticamente impossível.

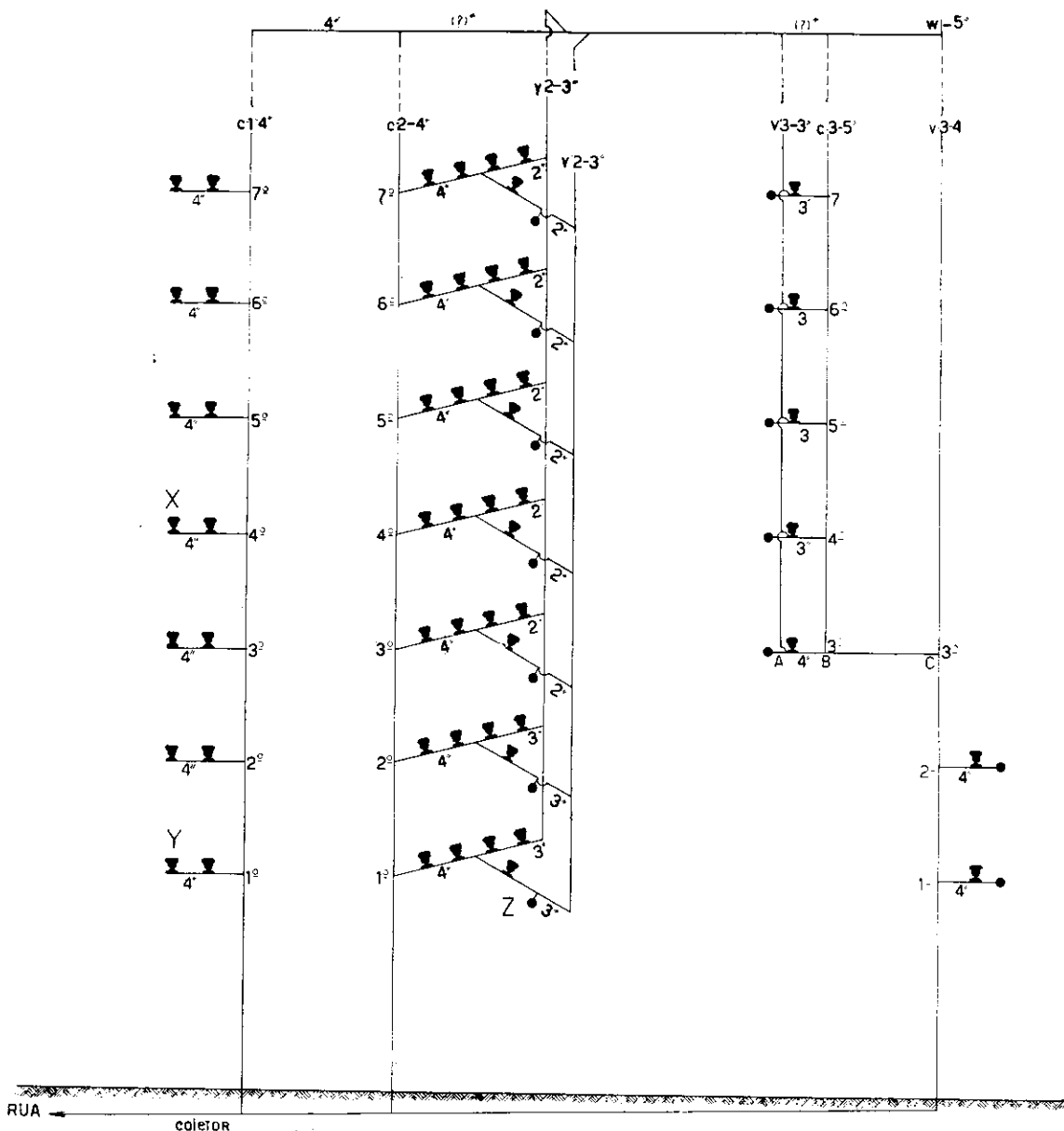


FIG. 1

que então perturbaria todos os cálculos que se seguem.

De passagem, devemos dizer que no Brasil, onde a maioria dos prédios têm menos de 50m de altura, sendo exceções os que isso ultrapassam e casos esporádicos os que vão além de 100m, as fórmulas que se seguem aplicam-se sem restrição.

Tomamos para pressão do ar, 700mm de Hg, que é o normal na Cidade de São Paulo, onde este trabalho foi feito, bem como em grande número de cidades do planalto brasileiro. Todavia, dados os grandes coeficientes de segurança usados, o estudo

aplica-se bem, mesmo às cidades marítimas da América do Sul.

Problema Geral

A rede de esgoto das águas servidas de um prédio, compõe-se de duas partes: a subterrânea e a aérea.

Na parte subterrânea, não existe o problema da ventilação, porque em geral os aparelhos estão ligados à rede aérea. Calculando-se pois suas canalizações para trabalharem a meia secção, obtêm-se bons resultados.

Em casos especiais, onde seja preciso levar em conta o movimento do ar, os cálculos fazem-se exatamente como na rede aérea, pelo que passamos ao estudo desta, sem mais delongas.

A parte aérea da rede de um prédio, consta sempre de diversos conjuntos, como mostra a fig. 1, os quais são ligados aos coletores subterrâneos.

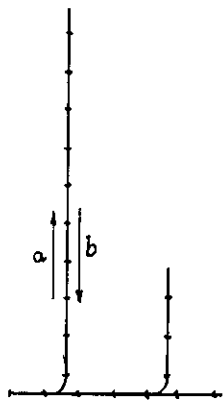


FIG. 2

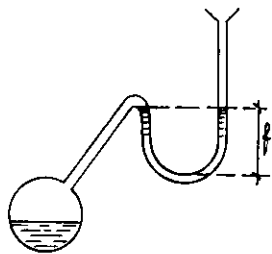


FIG. 3

Cada conjunto compõe-se de uma coluna C_i à qual são ligados em cada andar um ou dois ramais. Os aparelhos são ligados a esses ramais, na extremidade dos quais pode ser colocada ou não a coluna V_i , de ventilação auxiliar. Estes ramais podem receber outros, tributários, em cujas extremidades podem ser colocadas ou não, colunas de ventilação auxiliar V_i .

Chamamos de ventilador, à extremidade superior da coluna, que não recebe água e que vai do ramal superior, até 1 ou 2m acima da cobertura do edifício.

Este sistema de instalação é o que os americanos denominam de ("loop-venting"). Deixamos de estudar o "circuit-venting", que consiste em ventilar todos os aparelhos e todos os ramais de 5 em 5 pés, visto estar caindo em desuso, por dispendioso e inútil.

Quanto aos aparelhos sanitários, são ligados, como já dissemos, aos ramais aéreos, por meio de tubos em forma de sifão (vide fig. 3). A finalidade do sifão é evitar que o mau cheiro do esgoto penetre no aposento. O fêcho ou selo hidráulico "f" de um sifão, varia de 2" a 3", isto é, de 5 a 7 cm d'água, e não há razões pelas quais devamos sair destes limites.

Podemos agora fazer o estudo dinâmico do esgoto. Para fixar as idéias, suponhamos a coluna C_i da fig. 1. Es estado normal, todos os aparelhos estão em repouso: não corre água por C_i , que está cheia de ar, bem como os ramais. No interior do sistema reina a pressão atmosférica, igual à externa ambiente.

Desde o momento em que um aparelha "X" entra em funcionamento, a água começa a penetrar no esgoto, com uma vazão de "Q" l/min. Esta entrada de água comprime o ar interior, como um pistão no cilindro. Este, por sua vez, tende escapar-se por todos os lados. Se a pressão produzida for, em algum ponto, maior que o fêcho hidráulico "f" do sifão de outro aparelha, vide fig. 3, haverá penetração de gases de esgoto nesse aposento do prédio (3).

Esta hipótese tem que ser excluída, porque resultaria no fracasso da instalação. Portanto o aumento da pressão interna deve sempre satisfazer, em qualquer ponto, à desigualdade:

$$|\Delta P| < f_i \quad (1)$$

e o gás interior deve escapar, pelo ventilador, para a atmosfera.

Os experimentadores americanos afirmam que parte do gás, em lugar de ser expelido pelo ventilador, é arrastado com a água para a rede subterrânea. Tal fato absolutamente não repugna ao bom senso. Todavia ele escapou por completo às minhas observações pessoais. Possivelmente só se torne sensível com vazões exageradas, que devemos sempre evitar nas boas instalações.

Portanto, quando há uma descarga de "Q" l/min. de água, numa coluna, devemos admitir uma vazão igual de gás saindo pelo ventilador, porque supusemos, pela desigualdade (1), que a compressão do gás é desprezível.

Vejamos agora como se move a água nos ramais e nas colunas.

Nos ramais aéreos, cuja declividade varia de 2 a 3%, a água ocupa o lado inferior do tubo, dividindo-o em duas partes de seções S_i e S'_i , conforme fig. 4a. Nunca devemos permitir que a altura "h", a que sobe o líquido, ultrapasse o raio do tubo. A seção S' deve ficar perfeitamente livre para o movimento do gás.

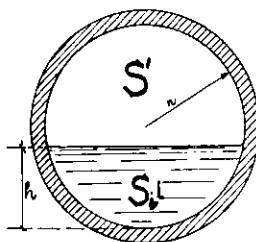


FIG. 4-a

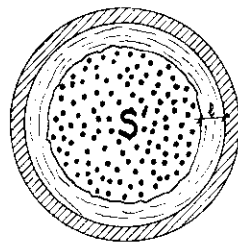


FIG. 4-b

(3) A respeito da resistência do fêcho hidráulico de um sifão, vide — Babbitt — Plumbing, pág. 141 a 147. Ali estão discutidas diversas experiências feitas na Universidade de Illinois.

Quanto ao movimento da água nas colunas, é êle muito mais complexo. Antes de tudo, vou tentar traduzir o que, à respeito, diz Babbitt à pág. 140 do seu livro, sob o título: "The Movement of Water in traps":

... "As pressões (nos esgotos) são influenciadas por muito diversas espécies de fatores, como a formação de um vórtice quando a água cai pela coluna, o desenvolvimento da água num chuveiro fino em vários pontos da coluna, a adesão da água às paredes do tubo, ou a queda livre pelo centro da coluna".

As minhas observações pessoais mostraram que, em geral, a água cai pela coluna em aderência à parede do tubo, com movimento helicoidal, formando um anel periférico de espessura "e" como mostra a figura 4b. No centro, resta vazia, para o movimento de gás, a secção S', na qual entretanto se nota forte chuveiro, produzindo-se assim uma atmosfera úmida. Êste chuveiro, que naturalmente dificulta a ventilação, tem velocidade muito maior que a lâmina periférica. Nas vazões exageradas e, algumas vêzes, mesmo nas grandes, parte da água se destaca, caindo livremente pelo centro da

coluna: êste filete tem sempre velocidade extremamente elevada (4).

A lei de variação da velocidade da água, nas colunas, ainda é muito pouco conhecida. Nas grandes vazões ela obedece, muito provavelmente, as curvas da fig. 5. Os máximos atingidos — sem que a lâmina periférica se destaque parcialmente — estão assinalados na 5.ª coluna da Tabela I.

Tubo	D _i m/m	S _i C.2	S _{i-1/2} S _i	V _{coluna} m ³ /sg.	Q _{r-2%} lt./m.	Q _{r-3%} lt./m.	Q _{r-2%} lt./m.	Q _{r-3%} lt./m.
1"	25.4	5.06	0.56	-	5.91	7.48	6.60	8.35
1½"	31.7	7.90	0.64	-	8.40	10.30	12.20	14.95
1½"	38.1	11.4	0.69	8.20	11.55	14.18	20.2	24.80
2"	50.8	20.3	0.56	9.00	40.4	49.1	45.0	54.9
2½"	63.5	31.7	0.64	9.70	56.6	69.5	81.7	100.8
3"	76.2	45.6	0.69	10.20	76.5	94.5	134.2	165.0
4"	101.6	81.0	0.56	12.00	264	322	294	360.0
5"	127.0	126.9	0.64	13.70	368	450	534	654
6"	152.4	183.0	0.69	15.00	495	610	869	1065
8"	203.2	324.0	0.56	17.00	1620	2050	1808	2280
10"	254.0	507	0.64	18.50	2340	2860	3400	4155

TABELA I (form. Bazin)

Mas tudo isso são cálculos e avaliações ainda não confirmados. O que se sabe experimentalmente é:

- 1 — Quando a água cai por uma coluna, atinge rapidamente a velocidade de regime (em geral antes de 10m de queda);
- 2 — Numa mesma coluna, a velocidade de regime aumenta com a vazão;
- 3 — A velocidade de regime é atingida mais rapidamente com vazões menores;
- 4 — Com vazões proporcionais às secções das colunas, a velocidade de regime é menor e atingida mais rapidamente, na coluna de menor secção;
- 5 — Com iguais vazões, a maior velocidade de regime é a do tubo de menor secção e nela é necessária maior altura de queda, para ser atingida essa velocidade de regime.

Êstes resultados, obtidos recentemente nos EE.UU., estão de acôrdo com as antigas leis da hi-

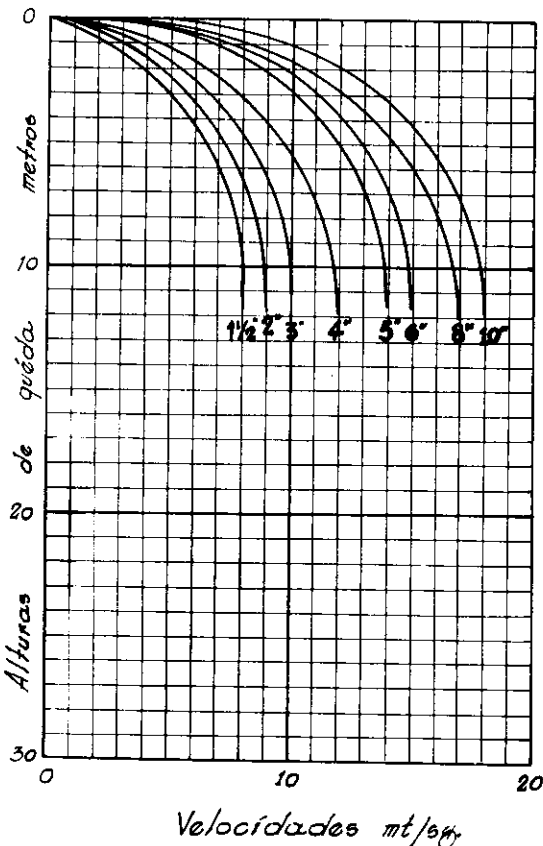


FIG. 5

(4) Nas instalações calculadas por êste método, não se observará a formação de tal filete central, porque trabalhamos sempre com vazões reduzidas.

dráulica, as quais mostram que a velocidade da água nas canalizações é uma função de ponto: ela é quase nula nas camadas externas, em contato com o tubo, crescendo sempre que se aproxima do eixo.

O "Hoover Report" (vide Babbitt, pág. 160), baseado em considerações que desconheço, propôs a seguinte fórmula para expressar a velocidade da água nas colunas:

$$V = \sqrt{\frac{g}{K} - \frac{g}{K} \frac{2}{V_0} - \frac{2}{e^{2Ks}}} \quad (2)$$

onde:

g = aceleração da gravidade;

e = base do sistema de logaritmos neperianos;

s = altura de queda na coluna;

V_0 = componente vertical da velocidade inicial;

K = coeficiente de atrito.

Mas que eu saiba, até hoje não foi feita nenhuma determinação do valor de "K".

Devido a tôdas estas dificuldades na determinação da velocidade da água, nas colunas, para o cálculo destas, teremos que empregar um artifício, como será visto mais adiante.

Passemos a estudar o movimento do ar, que é comprimido com a entrada da água nos tubos.

Logo que um aparelho "X", (figs. 1 e 3) começa a funcionar, entra no tubo de esgoto uma descarga de água de "Q" l/min., que o vai enchendo. Esta água vai comprimindo o ar interno, que em consequência começa a escapar pelo ventilador. A pressão vai subindo até um certo valor, que depende das perdas de carga no tubo. Assim que o tubo se enche completamente, isto é, que a água penetra na rede subterrânea, estabelece-se o regime e a sobrepressão Δ_p cai rapidamente a zero. Isto permanece até que a descarga do aparelho termine, momento em que o tubo começa a se esvaziar, havendo portanto uma depressão interior, com sucção de ar atmosférico pelo ventilador (vide fig. 6).

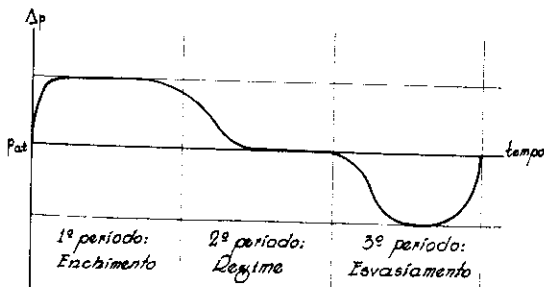


FIG. 6

Na realidade o fenômeno não é tão simples, porque as descargas, especialmente as de alta vazão, tem duração pequena e em geral o 2.º período, fig. 6, vem a faltar. Além disso, é frequente que duas ou mais descargas se sobreponham. Também não devemos esquecer que o movimento dos fluídos, nas canalizações, é pulsatório e não permanente, como se admite nos cálculos. Assim, o que se formam são ondas de pressão que percorrem os tubos, refletem-se, amortecem-se e compõem-se. Estas ondas vêm chocar-se com a água dos sifões — vide fig. 3 — produzindo nela um movimento oscilatório em torno da posição de equilíbrio. Este movimento, que evidentemente tende a diminuir o fêcho hidráulico "f", por extravasamento, pode ser amortecido, ou mesmo forçado, visto que as descargas, e portanto as ondas de pressão, podem se superpor. Nem mesmo a possibilidade de ressonância devemos desprezar.

Tal movimento oscilatório da água dos sifões, é o que realmente se observa na prática. Quando êle excede certo valor, o fêcho hidráulico "f" rompe-se, havendo penetração de gases de esgôto no aposento.

As considerações acima mostram claramente que: **o problema geral do cálculo de uma rede aérea domiciliar de esgôto, consiste em dimensioná-la de modo a dar escoamento às maiores descargas possíveis, ou prováveis, sem que se produzam, dentro dos tubos, pressões Δ_p perniciosas, ou seja, capazes de romper os feixos hidráulicos dos sifões.**

O primeiro passo a dar, é, pois, o estudo das perdas de carga do ar em movimento nos tubos de esgôto.

Para tanto resolvi adotar a seguinte fórmula, que encontrei à pág. 430 do Catálogo 42, da Walworth Co.:

$$\Delta_p = \frac{0.0013 f p v^2}{d} L \quad (3)$$

Δ_p = perda de carga, em libras/pol.² ... (1 lb/in² = 70.307 cm d'água)

L = comprimento do tubo, em pés (1 pé = 0.3048 m)

p = densidade em libras/pé cúbico .. (1 lb/pé³ = 0.016 gr/cm³)

v = velocidade em pés/segundo (1 pé/seg = 0.3048 m/seg)

d = diâmetro interno em polegadas (1 pol = 25.4 mm)

f = coeficiente de atrito ($f = 0.039$)

Com esta fórmula, construí o ábaco da fig. 7. Se o coeficiente de atrito "f", fôsse constante, o trabalho seria muito simples e as linhas $d = \text{const.}$,

seriam retas paralelas. Porém "f" varia com "d", com "v", e com o material de que é construído o tubo (3) e a equação (3) só pode ser resolvida graficamente. A variação de "f" com "v", é muito pequena, isto é, menor que o erro introduzido pela resolução gráfica. Assim, no nosso ábaco, as linhas $d = \text{const.}$, são retas próximamente paralelas.

Nota I — Infelizmente a equação (3) foi a única que encontrei adaptável ao problema. São muito frequentes, fórmulas para o estudo de canalizações de ar comprimido. Mas elas são em geral aplicáveis a pressões e vasões muito maiores, pelo que não tive meios de confrontar os resultados.

Mesmo assim, resolvi adotar a fórmula (3), devido à grande confiança que o autor me inspira, pela sua longa prática do assunto e responsabilidade mundial. Os resultados obtidos me autorizam dizer que, se há erro, este é duma ordem de grandeza muito menor que a precisão exigida neste cálculo.

Nota II — Do ábaco construído, ressalta imediatamente a vantagem de se fabricarem tubos de ferro fundido de 2½" e de 5" que, infelizmente, não se encontram à venda na praça.

Qualquer ventilador, calculado com o ábaco da fig. 7, terá uma perda de carga Δ_p de 1 mm d'água, em todo seu comprimento. Este valor, $\Delta_p = 1$ mm d'água, para compressão máxima, é arbitrário: ele foi adotado tendo em vista não nos afastarmos demasiadamente dos diâmetros que a rotina tem mostrado serem aconselháveis. Porque a finalidade deste trabalho, não é propôr instalações arrojadas, cujo sucesso não se pode garantir, visto que ainda não sabemos até que ponto se verificam as hipóteses preliminares feitas, bem como muito pouco se conhece a respeito do movimento da água nas colunas, conforme frizei linhas atrás. Também temos que prever o lançamento de objetos sólidos no esgôto, fato aliás corriqueiro.

O que tenho em mira, apenas, é combater certos princípios que não encontram apóio teórico algum e que a experiência de muitos já tem mostrado caducos. São eles:

- 1.º — **Não colocar curvas nos ventiladores** — Nenhum mal há nisso, desde que se leve em conta as perdas suplementares, conforme Tabela II, e que essas curvas não venham a ser ponto de depósito de sujeira;
- 2.º — **Não colocar curvas nas colunas** — Estudaremos este ponto detalhadamente num exemplo;
- 3.º — **Colocar coluna de ventilação auxiliar na extremidade de todo ramal de mais de 5 pés (1.50 m)** — Como vimos, o diâmetro do ventilador depende da perda de

carga e, esta, do comprimento do tubo e da vasão do esgôto, e não apenas do comprimento do tubo. Também, este ponto ficará melhor esclarecido em exemplos.

- 4.º — **Não unir as extremidades superiores dos tubos de ventilação, a fim de reduzir as saídas para a atmosfera** — Como já frizamos atrás, elas podem até ser reduzidas a uma única.

TABELA II
COMPRIMENTOS EQUIVALENTES
DE TUBO DO MESMO DIÂMETRO, EM METROS

DIAM.	90°	45°	I	II
1"	0.55	0.37	0.45	1.34
1¼"	0.67	0.45	0.54	1.67
1½"	0.82	0.54	0.67	2.04
2"	1.09	0.76	0.91	2.74
2½"	1.34	0.91	1.12	3.35
3"	1.61	1.12	1.34	4.11
4"	2.13	1.52	1.82	5.48
5"	2.74	1.88	2.25	6.85
6"	3.20	2.28	2.74	8.22
8"	4.26	3.04	3.65	10.97
10"	5.48	3.79	4.57	13.71

FIGURA - 7 -

Uma recomendação entretanto, de muitos regulamentos (não todos), deve ser mantida: fazer sempre as colunas de diâmetro uniforme. Realmente, na parte inferior da coluna, a vasão de água é muito maior, porém, como toda coluna **também é ventilador**, e a superfície S' de ventilação, (vide fig. 4b) é mais de 90% de S total, há conveniência em não reduzir-se o diâmetro na parte superior. Isto, também ficará muito mais claro mediante exemplos de cálculo.

II.ª PARTE

EXEMPLOS

- 1.º — **Seja calcular o conjunto C₁ da fig. 1**

Em cada andar a coluna recebe um ramal de 2 m com 2 W.C.

A coluna C₁ tem, desde o 1.º andar do prédio, onde estão localizados os aparelhos mais distantes, à boca do ventilador, cerca de 23 m.

(5) Para as linhas $d = 1"$, $1¼"$ e $1½"$, usei o valor de "f" aconselhado pelo autor, para o ferro galvanizado. Para $d = 2"$ a $10"$, adotei o ferro fundido, que é material com maior coeficiente de atrito.

A distância do aparelho Y à coluna, "é de 2 m.

Do ponto Y à bôca do ventilador, temos 7 peças T a 180°, e 1 a 90°. Avaliando em 4" o diâmetro de C₁ teremos um comprimento suplementar de 18.22 m, pela tabela II.

Portanto o comprimento virtual será de
23 + 18 + 2 = 43 m.

Supondo que as 14 válvulas ligadas sejam automáticas, podemos admitir 3 em funcionamento simultâneo, isto é, uma descarga de 300 litros por minuto ⁽⁶⁾.

Pelo ábaco da fig. 7 obtemos um diâmetro próximo de 3".

Mas o que realmente determinamos, foi a secção S', (vide fig. 4b), destinada à ventilação.

Como já fizemos ver atrás, a secção S_c, de escoamento do líquido, é de determinação muito imprecisa. Então faz-se C₁ = 4", isto é, um grau acima na escala padrão de diâmetros da tabela I.

Nota — Se fôssemos calcular S_c pela coluna 5.^a da tabela I, acharíamos um valor muito menor. Mas já discutimos amplamente a imprecisão destes dados: assim, o cálculo acima está do lado da segurança.

Para os ramais, admitiremos os dois aparelhos em uso simultâneo, o que dá uma vasão de 200 litros por minuto. Se fizermos também os ramais de 4", como a vasão calculada está abaixo dos valores que se encontram à 6.^a e 7.^a colunas da tabela I, não se torna necessário ventilação auxiliar.

OBSERVAÇÃO GERAL

Para melhor compreensão, é útil um esclarecimento a respeito do modo como foi feita a tabela I.

A 1.^a, 2.^a e 3.^a colunas não apresentam dificuldade alguma: elas indicam características dos tubos.

Na 4.^a coluna estão calculadas as relações entre as secções dos tubos correspondentes e as dos imediatamente anteriores. Assim na 7.^a linha encontramos o n.º 0.56, que é a relação das secções dos tubos de 3" e 4". Realmente, na 6.^a e 7.^a linhas da 3.^a coluna temos as áreas 45.60 cm² e 81.00 cm².

Ora, é precisamente: $\frac{45.60}{81.00} = 0.56$, que

se encontra na 7.^a linha da 4.^a coluna. Na 5.^a coluna, temos a velocidade de regime da água, nos diversos tubos verticais para as grandes vasões. Já fizemos ver que êstes não inspiram confiança alguma ⁽⁷⁾.

Nas 6.^a e 7.^a colunas temos vasões, pela fórmula de Bazin, em ramais de 2% e 3% de declivi-

dade, para o caso em que o líquido sobe a uma altura h, tal que tenhamos (vide fig. 4a):

$$\frac{S'}{S_1} = \frac{S_1 - 1}{S_1}$$

Tomando o cuidado de não permitir que a vasão nos ramais, ultrapasse os valores dados nestas colunas da tabela, asseguraremos nesses ramais, uma secção S' para a ventilação, igual à que admitimos na coluna, como mostra o cálculo acima.

Nota — Isto é rigorosamente certo, quando os ramais têm o mesmo diâmetro que a coluna, como neste exemplo.

Nos casos em que os ramais são menores que a coluna, não é bem exato, porém o erro é desprezível. Especialmente porque, quanto maior é a diferença máxima entre o diâmetro da coluna e o de um ramal, tanto maior é a desproporção entre os seus comprimentos, de um modo geral. Assim, o comprimento do ramal torna-se desprezível, comparado com o da coluna.

Nas 8.^a e 9.^a colunas, temos as vasões a meia secção de líquido. Em hipótese alguma devemos projetar um ramal com vasão superior, por medidas de segurança, especialmente contra obstruções.

2.º — Seja calcular o conjunto C₂ da fig. 1

Em cada andar a coluna recebe um ramal de 4 m com 4 W.C. Cada ramal recebe um tributário de 2 m com um quarto de banho. Tôdas as válvulas são automáticas.

A coluna C₂ tem desde o 1.º andar, onde se acham localizados os aparelhos mais distantes, à bôca do ventilador, cêrca de 23 m.

O comprimento do ramal do 1.º andar é de 4 m.

Do aparelho (ralo) mais afastado Z, à boca do ventilador temos 9 peças T a 180°, 1 a 90° e 2 curvas de 45°. Avaliando em 4" o diâmetro do ventilador C₂, teremos um comprimento suplementar de cêrca 25.0 m.

Portanto o comprimento virtual é:

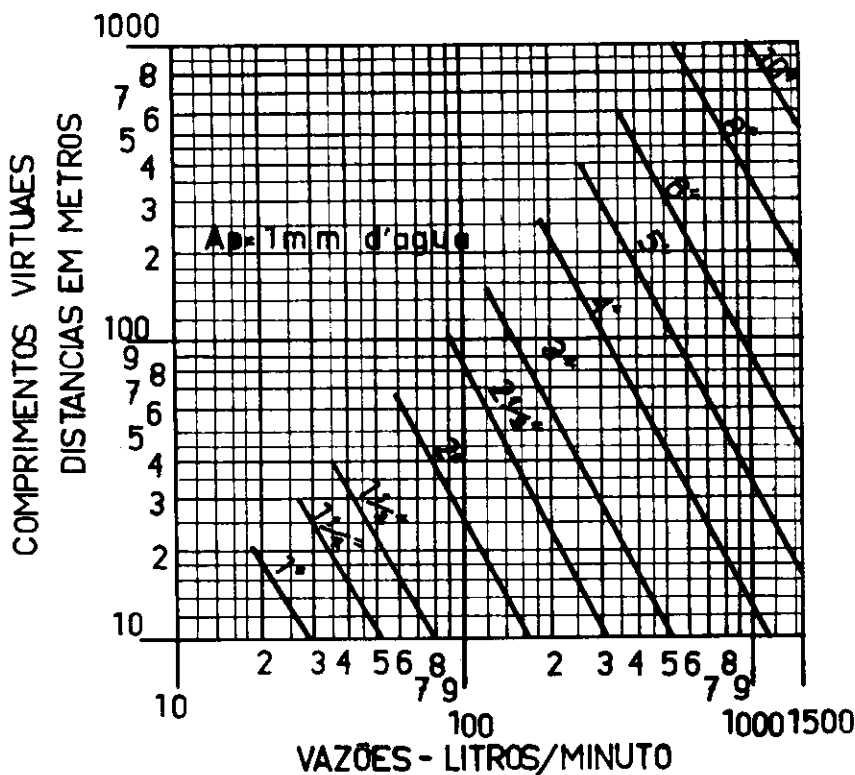
Para vasão, podemos admitir pròximamente 400 litros por minuto (28 W.C. e 7 quartos de banho) ⁽⁸⁾.

O ábaco da fig. 7 exige um ventilador C₁ de 4", isto é, a coluna com 5", de acôrdo com o estabelecido anteriormente.

(6) Para o estudo da probabilidade de uso simultâneo de aparelhos, vide meu trabalho anterior "Distribuição de Água Fria em Residências", publicado na Revista Acrópole, maio de 1943, posteriormente reimpresso na Revista de Engenharia Mackenzie.

(7) Chamo atenção para que êsses valores não são usados nos cálculos, servindo apenas como ilustração.

(8) Ver meu trabalho antes citado.



Suponhamos que na ocasião não possuímos tubos de 5": teremos que fazer a coluna com 4" e usar a ventilação auxiliar V_2 .

Vamos calculá-la.

Pelo mesmo ábaco, vemos que por uma coluna de 4" (portanto, pelas convenções feitas, ventilador de 3"), com 52 m de comprimento, podemos escoar 200 litros por minuto de ar. Como a nossa vazão é de 400 litros por minuto, a ventilação auxiliar V_2 deve ter 3", visto que seu comprimento virtual é de 47.50 m pela fig. 1.

Os ramais principais devem ter 4", devendo o do 1.º e mesmo o do 2.º andar, ser ligados ao ventilador auxiliar V_2 por tubos de 3", isto é, mesmo diâmetro que a coluna V_2 ; os outros podem ser ligados por tubos de 2", como se faz comumente: vide tabela I.

Consultando novamente o ábaco da fig. 7, vemos que para a vazão de 400 litros por minuto, um ventilador de 3" pode ter o comprimento virtual de 16 m. Isto nos mostra que os ramais dos 7.º e 6.º andares não precisam ser ligados ao ventilador auxiliar V_2 . Porém é preferível fazê-lo, sempre que as condições o permitam.

Só nos falta calcular os ramais tributários, que em cada andar despejam nos principais.

Podemos admitir para cada ramal, (um quarto de banho) a vazão de 125 litros por minuto e para o conjunto dos 7, a vazão máxima provável de 306 litros por minuto.

Pela tabela I, vemos que os ramais devem ter 4", ou mesmo 3", se a declividade for de 3%. Se tivermos que empregar tubos de 3", com declividade de 2%, será necessário colocar um tubo de ventilação auxiliar V_2 para os 306 litros por minuto de vazão do conjunto.

O comprimento virtual desse ventilador V_2 será de cerca 37 m, como é fácil calcular. Portanto seu diâmetro deve ser 3".

As mesmas observações feitas no estudo de V_2 , a respeito da ligação dos ramais dos andares superiores ao ventilador auxiliar, cabem aqui.

3.º — Seja calcular o conjunto C, da fig. 1

Em cada andar a coluna recebe um ramal de 1.50 m, que esgota um quarto de banho, isto é, W.C. e ralo sifonado.

No 3.º andar temos uma quebra da coluna, com o trecho A B C praticamente horizontal. Esta construção é das mais perigosas, porém não condenada de todo. No ponto B, em que a água passa

de queda vertical para um trecho com 2 a 3% de declividade, há grande formação de turbilhões ou "remous", o que nos obriga a cuidados especiais, afim de evitarmos as sôbrepressões.

Sendo $BC = 3$ m, o comprimento da coluna, desde a bôca do ventilador até o 1.º andar, é de 26 m.

O ramal do 1.º andar tem 1.50 m. Do seu ralo ao ventilador, temos as peças: 6 T a 180º e 3 T a 90º. Isto trás um comprimento suplementar de 34.05 m, supondo que a coluna vá ter 5".

O comprimento virtual é:

$$26 + 1.50 + 34.05 = 61.55 \cong 62 \text{ m.}$$

Como supomos as válvulas automáticas, a vasão será de 306 litros por minuto.

O ventilador C_3 terá 4" e portanto a coluna 5"

Como há aparelhos a jusante de B (não de C_1), é necessário colocar o ventilador V_3 , que por segurança deve ter o mesmo diâmetro de C_1 , isto é 4".

Além disso, como o trecho horizontal BC tem aparelhos ligados ao seu prolongamento BA, é necessário ventilar o ponto A por meio de V_3 .

Para vasão deste ventilador, admitiremos os mesmos 306 litros por minuto da coluna.

O seu comprimento virtual é de:

$$18.50 + 6.97 = 25.47 \cong 25.50 \text{ m.}$$

admitindo-se que seu diâmetro será de 3".

Realmente o ábaco nos dá $V_3 = 3$ ".

Como já frizamos em exemplo anterior, é conveniente ligar todos os ramais que possível, a V_3 . A ligação do ramal do 3.º andar e possivelmente a do 4.º andar, deve ser de 3", mesmo diâmetro que o ventilador.

Os ramais deverão ter 4" nos 1.º, 2.º e 3.º andares, como é fácil verificar pela tabela I. Nos restantes poderão ser de 3".

4.º — Seja finalmente calcular o diâmetro de um ventilador único W, para todo o conjunto da fig. 1

A coluna mais afastada de W é C_1 , que nos servirá portanto, para o cálculo do comprimento do ventilador. Já vimos no 1.º exemplo, que seu comprimento é de cerca de 23 m. O aparelho mais afastado, acha-se a 2 m da coluna. A parte horizontal do ventilador (o trecho $C_1 - V_3$) tem 16 m.

Admitindo que em tôda a sua extensão (W — Y) êle tenha diâmetro de 5" — isto nos coloca do lado da segurança — e levando em conta as peças: 12 T a 180º, 6 T a 90º e 1 curva de 90º, teremos o comprimento suplementar de pròximamente 71 m.

Portanto o comprimento vertical será:

$$23 + 2 + 16 + 71 = 112 \text{ m}$$

Podemos admitir (como nos exemplos anteriores) a descarga de 700 l/min.

Então o ábaco da figura 7 nos dá realmente o diâmetro de 5½". Todavia, como fizemos varia aproximações para o lado da segurança, pode-se adotar W — 5". Analogamente, mudando apenas as descargas à juzante, calcula-se qualquer trecho da parte horizontal do ventilador: isto fica para o leitor, como exercício.

OBSERVAÇÕES FINAIS

Dos cálculos e teorias acima expostos, conclue-se que, para facilitar o movimento do ar, as ligações dos ramais aéreos às colunas devem ser feitas sempre com junções de 90º, isto é, "Tês Sanitários".

Aparelhos	Vazões lt/m.
Banheira	30
Bidet	15
Lavatório	20
Mictório	variavel
Pia	25
Quarto banho c/valvula	130
Ralo	10
Tanque	30
Valvula	100

TABELA III

As ligações dos mesmos ramais, às colunas de ventilação auxiliar, devem ser feitas com junções de 45º.

Quanto ao dimensionamento de tubos, tenho apenas a acrescentar que a tabela III deve ser rigorosamente seguida, para aparelhos fabricados na cidade de São Paulo. O ábaco da fig. 7 não deve ser extrapolado, pois não convém que os tubos muito finos tenham comprimento ou vazão exagerados, pela dificuldade das desobstruções.

(9) Torna-se evidente, que parte do ar expulso pela descarga, escoar-se por C_2 e o restante por V_2 .

(10) Como o cálculo exato da vasão do ventilador é complicado, neste caso, faz-se esta aproximação, que encarece um pouco o projeto, mas não tem outro inconveniente.