

A PITOMETRIA APLICADA À DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE DE TUBULAÇÕES

CENTRO DE PESQUISAS PITOMÉTRICAS(*)

Eng.º SIVAR HOEPPNER FERREIRA
Eng.º WALTER PLATZECK

A Pitometria vem sendo empregada há mais de setenta anos nos Estados Unidos e em diversos outros países, para testes de campo em sistemas de distribuição de água. A técnica é simples, rápida e precisa.

No Brasil, nos últimos anos, tem crescido o interesse pela Pitometria. No Rio de Janeiro, em 1967 foi criado um Departamento de Pitometria; em São Paulo, em 1969 foi criado o Centro de Pesquisas Pitométricas.

Serão criados, em futuro próximo, Departamentos de Pitometria no CENTRO TECNOLÓGICO DE SANEAMENTO BÁSICO (CETESB), COMPANHIA METROPOLITANA DE ÁGUA DE SÃO PAULO (COMASP) e COMPANHIA DE SANEAMENTO DA BAIXADA SANTISTA (S. B. S.). Atualmente a «The Pitometer Associates», de Nova York é a firma consultora do Centro de Pesquisas Pitométricas da SUPERINTENDÊNCIA DE ÁGUA E ESGOTOS DA CAPITAL (SAEC), onde a tecnologia é aplicada por engenheiros da SAEC, CETESB, COMASP e S.B.S.

Em resumo, as Pesquisas Pitométricas nos sistemas de distribuição são efetuados com as seguintes finalidades: determinação de vazamentos subterrâneos e desperdícios de água; determinação do fornecimento global do sistema com respeito a vazões nas linhas troncos e pressões através do sistema.

As pesquisas incluem, determinação do rendimento de elevatórias e calibração de medidores, tais como VENTURIS e TUBOS DALL.

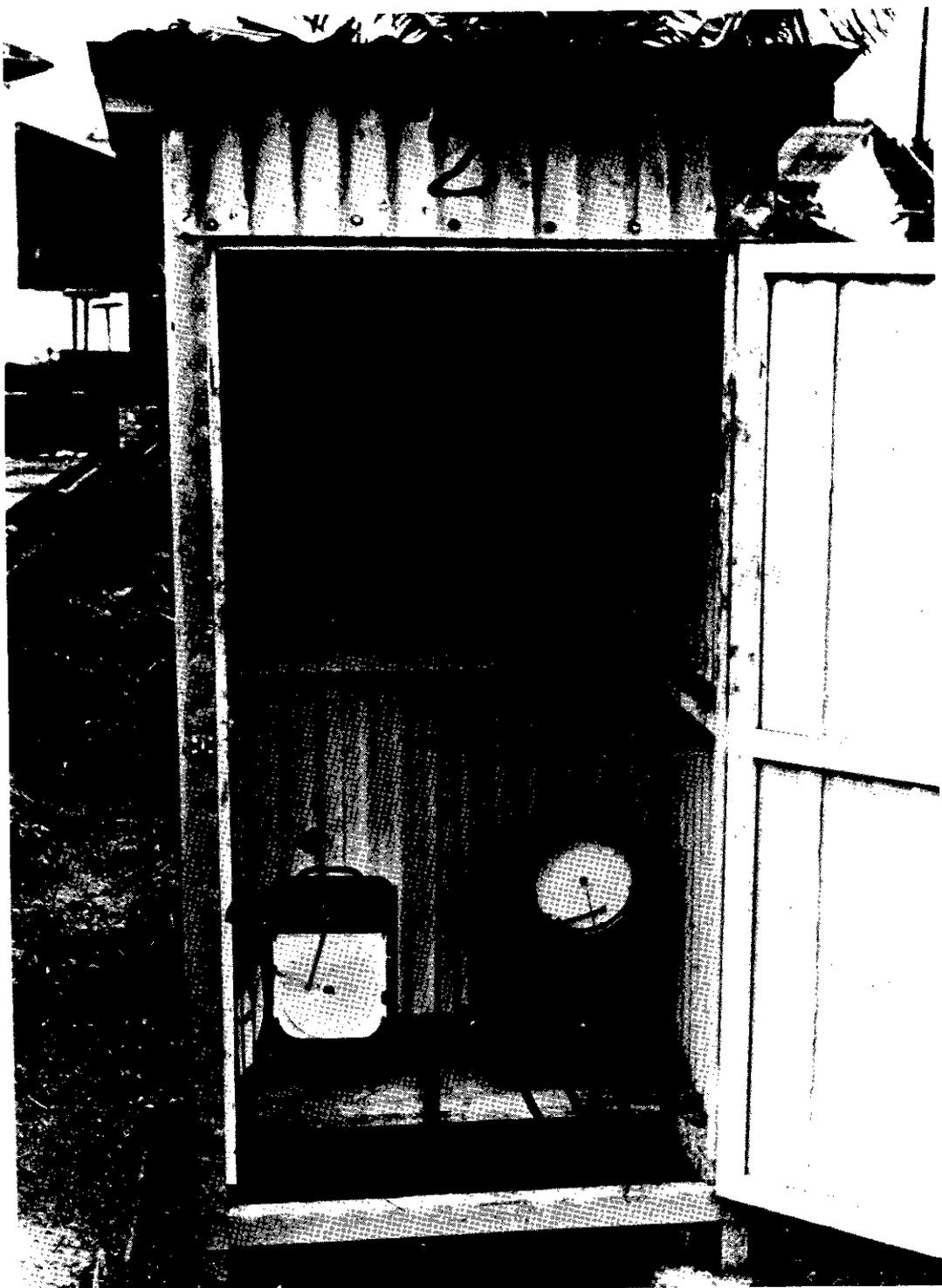
Além da medição da demanda e consumo por áreas pré-fixadas, são efetuados testes especiais em linhas tronco e linhas de distribuição, para

determinação das condições internas de rugosidade das tubulações. Estes testes determinam a perda de carga por atrito do fluido com as paredes da tubulação, incluindo as perdas de carga excessivas causadas por superfícies internas com rugosidade anormal, obstruções e registros total ou parcialmente fechados.

O PITOT (foto 1) é conectado à tubulação por intermédio de um TAP ou registro de derivação de 1". Este TAP é instalado em linhas de ferro fundido ou aço, sob pressão, utilizando-se uma máquina de furar especial. A esta máquina é conectada uma ferramenta combinada broca-macho que fura a tubulação e corta a rôsca. Com o mesmo equipamento, após a retirada da broca-macho, o TAP é adaptado no tubo.



(*) Da Superintendência de Água e Esgotos da Capital — SAEC.



Esta máquina executa o furo, abre rêsca, e coloca o TAP com a linha em carga sem nenhuma interferência na operação normal do sistema.

A locação do TAP na linha é muito importante e deve-se ter o cuidado de ter a montante, um comprimento tão grande quanto possível de tubulação reta, para se evitar turbulência excessiva.

Instalado o TAP, mede-se o diâmetro real da tubulação nesta secção, por meio de um calibre apropriado.

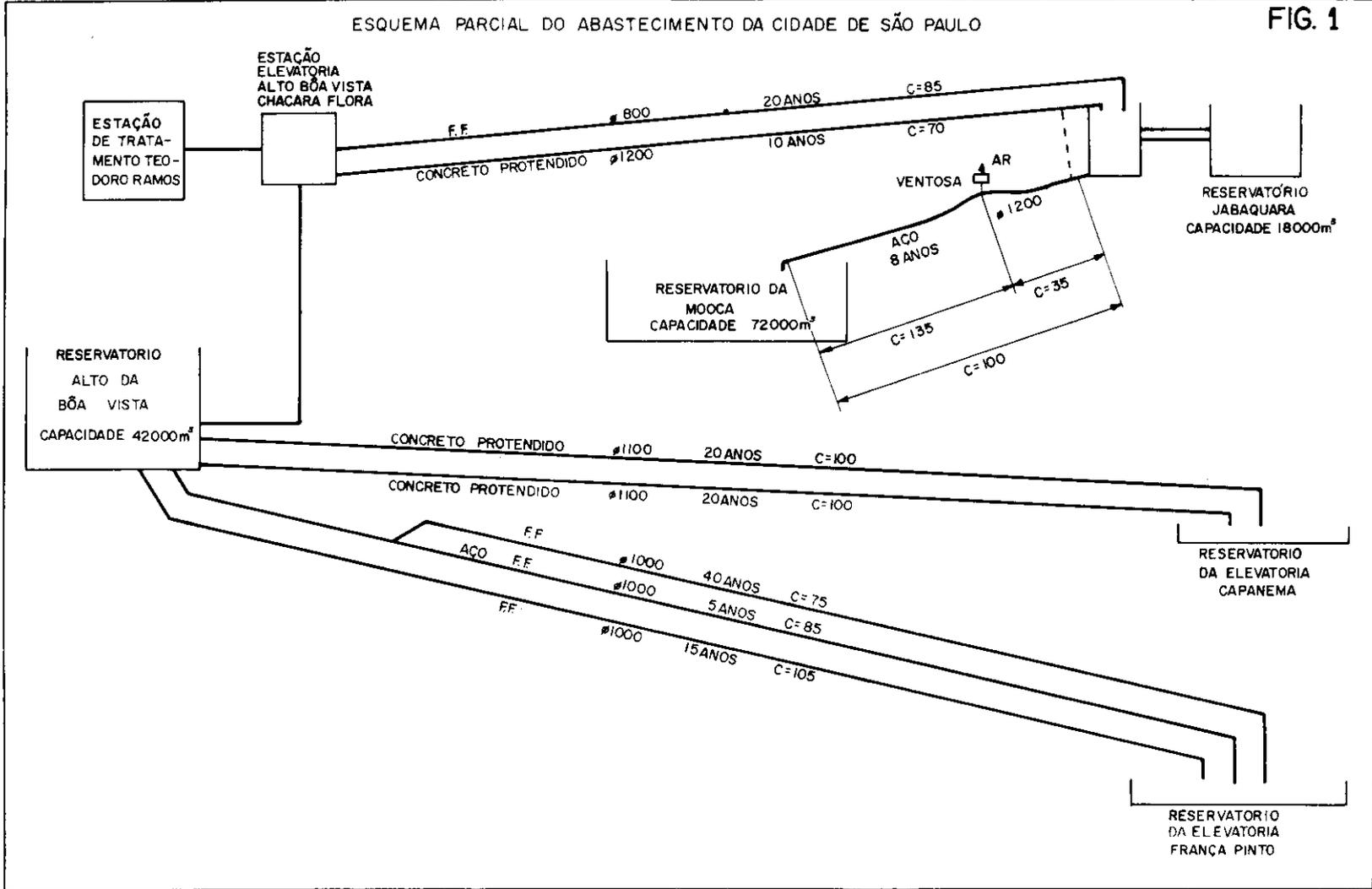
A vazão é determinada por:

$$Q = A V$$

sendo A a área da secção e V a velocidade obtida por meio de PITOT.

ESQUEMA PARCIAL DO ABASTECIMENTO DA CIDADE DE SÃO PAULO

FIG. 1





O PITOT nos permite medir a deflexão «h», da expressão $V = \sqrt{2gh}$, como é de conhecimento geral.

O escoamento no ponto de medida ocasiona uma diferença de pressão entre o orifício de montante e outro situado a 180° ou 90°, correspondente à pressão dinâmica nêsse local.

A diferença de pressão é medida por intermédio de um tubo em U, contendo líquido indicador colorido, de densidade superior a 1. Obtém-se precisão muito boa, utilizando-se líquidos indicadores de diferentes densidades, de acôrdo com a velocidade da água na linha.

Quando o PITOT tem 2 orifícios dirigidos em sentidos opostos, girando-se o instrumento de 180°, poderemos constatar que a indicação é a mesma, independentemente de qual orifício esteja dirigido contra o fluxo, testando desta maneira o instrumento.

A densidade do líquido indicador, pode ser facilmente verificada no campo, medindo e comparando as colunas de líquidos no tubo U.

O escoamento de fluidos em uma tubulação ou canal é afetado pelo atrito com as paredes. Este atrito reduz a velocidade do escoamento nas proximidades das mesmas. Quanto mais rugosas estas, maior será evidentemente, o efeito de redução de velocidade.

As medidas de velocidade são efetuadas em um ponto determinado, onde se situam as tomadas de pressão do PITOT. Normalmente, é escolhido o ponto central da secção considerada. É necessário, portanto, determinar a relação entre a velocidade no ponto central e a velocidade média na secção.

Obtidas a área real da secção e a relação entre a velocidade central e a velocidade mé-

dia, precisas medições de vazão podem ser efetuadas, utilizando-se a velocidade determinada pelo PITOT. Esta é obtida multiplicando-se a deflexão obtida no tubo U, por um fator que depende da densidade do líquido indicador.

Para efeito de registro de velocidade, o equipamento mais conveniente é constituído por um tubo U com líquido indicador colorido. A deflexão do líquido é fotografada em um papel sensível, que se move com velocidade constante.

Este método elimina todos os erros devidos ao atrito, que se apresentam em registradores de transmissão mecânica e pena (foto 2).

A inversão do fluxo será indicada, utilizando-se Pitômetros com tomadas de pressão defasadas de 180°.

Pela colocação de TAPS, em pontos apropriados, podem ser efetuadas medidas de vazão, para obtenção das seguintes informações:

- A. Aferição de medidores: medidores de vazão de Estações de Tratamento, reservatórios, indústrias ou outros pontos de grande consumo.
- B. Consumo e demanda, em áreas convenientemente isoladas da rede, de modo que toda a alimentação da área em estudo se faça apenas por uma linha provida de TAP e PITOT, para determinação da vazão. Obtém-se, assim, facilmente o consumo máximo, médio e mínimo, por um período de 24 horas.
- C. O consumo em trechos pequenos da rede, devidamente isolados por operação de registros, é medido com facilidade. Quando este consumo for excessivo, investigar-se-á a causa, que poderá ser vazamento subterrâneo, ligação clandestina ou vazamento nas residências.

D. São efetuadas medições de vazão em linhas tronco, em seus pontos críticos, a fim de se verificar quais as que estão sobrecarregadas e quais as que apresentam capacidade ociosa.

E. Instalando-se registradores de pressão e de vazão, determina-se o comportamento global do sistema de distribuição levantando-se as linhas piezométricas do mesmo. Através destas medições, poderemos localizar registros fechados e outras obstruções no sistema ou mesmo registros abertos que deveriam estar fechados.

Para a determinação do Coeficiente da Fórmula de Hazen-Willians, efetua-se um Teste de Perda de Carga.

e substituindo na fórmula de Hazen-Willians, obteremos o valor do coeficiente «C», ou seja, coeficiente de rugosidade.

Como este teste é executado para trechos de linha de vários quilômetros de comprimento, as curvas e registros estarão incluídos. O coeficiente da fórmula de Hazen-Willians encontrado será um «COEFICIENTE REAL DE TRABALHO», incluindo tôdas as perdas devidas à curvas, registros, alinhamento da linha, etc. Portanto, representará a capacidade de veiculação real da linha e não um valor teórico.

Utilizando-se os processos acima referidos, foram determinados os valores do coeficiente «C» conforme o quadro abaixo:

Sub-adutora	Ø	Material	Idade anos	C
ABV-Jabaquara	1200	concreto protendido	10	70
ANV-Jabaquara	800	F.º F.º	20	85
1.ª linha de gravidade ABV-Barão de Capanema	1100	concreto protendido	20	100
2.ª linha de gravidade ABV-Barão de Capanema	1100	concreto protendido	20	100
3.ª linha de gravidade ABV-França Pinto	1000	F.º F.º	40	75
4.ª linha de gravidade ABV-França Pinto	1000	F.º F.º	15	105
6.ª linha de gravidade ABV-França Pinto	1000	F.º F.º	5	85

Este teste é efetuado escolhendo-se uma secção de tubulação, a mais extensa possível, e fechando tôdas as derivações existentes na secção de teste.

Utilizando-se uma extensa secção de teste, o valor da perda de carga será tal que as imprecisões dos instrumentos de medição se tornarão desprezíveis.

Pitômetros e manômetros de precisão são instalados nos 2 extremos da secção de teste. Normalmente, medem-se as vazões e pressões durante um período de 20 minutos.

Conhecendo os valores exatos das cotas dos pontos de medição da secção de testes, e substituindo os valores de velocidade, cota e pressão na expressão do Teorema de Bernouilli, determinamos a perda de carga total entre os 2 pontos.

Conhecida a perda de carga total, velocidade, diâmetro e comprimento da secção de testes,

Pelo exame da tabela acima verifica-se que os coeficientes encontrados foram baixos em relação ao que se poderia razoavelmente esperar, tendo em vista o material da tubulação e a idade. Tal discrepância poderia ter duas causas possíveis:

- condições de rugosidade das paredes das tubulações;
- existência de uma obstrução localizada, devida por exemplo a registro parcialmente fechado, existência de corpo estranho preso em algum ponto, ar na linha, etc.

Com a finalidade de verificar a segunda hipótese procedeu-se ao levantamento da linha piezométrica ao longo das canalizações. Nas linhas de concreto protendido isto foi feito aproveitan-

do-se as ventosas existentes como pontos de tomada de pressão, na impossibilidade de executarem furos nas linhas desse material. As linhas de ferro fundido nenhuma dificuldade apresentam nesse aspecto.

Feito esse levantamento e traçada a linha piezométrica real, observou-se a inexistência de qualquer ponto de inflexão indicativo de alguma anormalidade localizada. Examinou-se a linha de \varnothing 1200 mm concreto protendido, ligando os reservatórios Jabaquara-Moóca (v. figura 1). Nessa, o trecho até a primeira ventosa apresentou grande perda de carga. A constante eliminação de ar nessa ventosa levou a constatação de que esse ar estava sendo introduzido pela entrada da linha. Esta entrada faz-se através de uma câmara de reduzidas dimensões, onde também vem a ter as sub-adutoras vindas do Alto da Boa Vista (v. esquema). Assim esta câmara funciona como verdadeira caixa de passagem, com grande turbilhonamento e conseqüente arraste de ar. Projetou-se então uma interligação entre as sub-adutoras, eliminando-se a passagem pela câmara. Executando este serviço, verificando-se um aumento de vazão de cerca de 10%, porém mantendo-se o coeficiente «C» relativamente baixo.

Dai se conclui que o baixo valor do coeficiente só pode ser atribuído à primeira hipótese: más condições de rugosidade das paredes.

Aguardou-se então a oportunidade de uma paralização para ser procedido o exame «in loco» do estado das paredes. Esta surgiu ao ser realizado o serviço de interligação acima mencionado. Foi então constatado, junto às paredes de concreto a existência de um depósito uniforme, de consistência gelatinosa, coloração escura, com espessura de 2 a 3 mm em toda a extensão da tubulação e cujo aspecto se apresentava bastante rugoso. Conforme verificação feita, o material é facilmente removível, podendo mesmo ser retirado com a mão. A foto 3 mostra um aspecto desse depósito, acentuando a diferença de textura da parede do tubo, onde houve raspagem manual.

Foram colhidas amostras para se conhecer a natureza do depósito, bem como da possibilidade da sua remoção.

O remanejamento das demais sub-adutoras para possibilitar a construção da Avenida Traição, cujo traçado cruzava as mesmas, deu ensejo à inspecção das demais linhas, verificando-se a existência do mesmo depósito, independentemente da natureza do material de que eram feitas, seja aço, concreto ou f.º f.º.

As análises indicaram a existência de material orgânica e mineral nas seguintes proporções:

Perda a 110°C	92,5%
Perda a 600°C	97,7%
Silica SiO ₂	1,0%

e como elementos minerais preponderantes Si, Mg, e em apreciáveis proporções: Al, Mn, Fe, Ca, Ti, Ba, Ni e elementos em quantidade pequena, tais como Zn, Cd, Ou, Cr, Sn, Po, Na.

A análise de outra amostra apresentou os seguintes resultados:

Umidade	92,00%
Matéria volátil	1,88%
Resíduo fixo	6,13%

Conforme verificação feita, o material é facilmente removível, podendo ser retirado facilmente com a mão; fotografias anexas indicam a diferença de textura da parede do tubo, onde houve uma raspagem manual.

Encontra-se menção de depósito análogo na literatura técnica, como por exemplo no «Basic Waterworks Manual» de Robert J. Sweitzer e outros. — La Salle, Chicago, 1958. Este afirma serem depósitos delgados (1/16") de MnO₂, suficientes para reduzir o coeficiente «C» de 150 para 100, convido notar ser o Mn um dos elementos presentes em apreciáveis proporções na amostra colhida.

A remoção do referido depósito e conseqüente aumento do coeficiente «C», é particularmente importante no presente caso, por não poder ser utilizada plenamente a capacidade instalada de recalque nas Estações Elevatórias de França Pinto e Barão de Capanema, devido à insuficiência da chegada de água.

Essa remoção poderá ser feita por diversos processos, entre os quais salientam-se os processos mecânicos e químicos, sendo que para os últimos, há necessidade de um completo conhecimento da natureza dos depósitos, a fim de encontrar-se um processo químico que possibilite a eliminação do mesmo.

Os processos mecânicos consistem principalmente numa raspagem mecânica, que com uma ou diversas operações seguidas de lavagem com água, elimina todos os depósitos ou incrustações, deixando a superfície limpa.

O emprêgo de tais processos em tubulações de f.º f.º causa entretanto melhoria temporária, pois dependendo da qualidade de água, em período curto, mesmo de alguns meses, as incrustações reaparecem, levando até a valores inferiores ao primitivo.

Assim é que nessa categoria de canalização, a primeira operação deve ser seguida de uma proteção, usando-se de preferência revestimento de cimento aplicado por equipamento especial, no próprio local, conseguindo-se assim um coeficiente de escoamento elevado e permanente.

Em caso de tubulações do concreto ou de aço revestido, pode-se empregar um cilindro de plástico de diâmetro pouco inferior ao nominal de tubo, revestido ou não com abrasivos, que é forçado através das canalizações pela pressão de água, controlando-se sua velocidade através da saída de água pelas descargas existentes.

Tais cilindros de material plástico são flexíveis, passando através de curvas e outras peças especiais, sem maiores dificuldades.

Graças às ranhuras existentes, esses cilindros (ou elipsóides alongados), seguem em um movimento rotativo, limpando então as superfícies. Devido à natureza do material, não necessitam de qualquer outra proteção, conseguindo-se altos coeficientes de escoamento, de forma duradoura e a custo relativamente baixo. Assim, canalizações de f.º f.º revestidas com cimento que apresentam coeficientes de 66 e 89, passaram a 154 e 140 após a limpeza, enquanto que canalizações de concreto com coeficiente de 62, atingiram 134, após tal método de limpeza.

Este último método, cujo custo é relativamente barato, estimado em Cr\$ 50.000,00, se aplicado a duas adutoras do Capanema, poderiam produzir um aumento de até 40% na vazão, que elevar-se-ia dos 2,8 m³/s atuais, a aproximadamente 4,0 m³/s. Assim teríamos um benefício: custo dos maiores, num prazo bastante curto,

pois tal serviço poderá ser executado em um dia em cada uma das adutoras referidas.

R E S U M O

A PITOMETRIA APLICADA A DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE DE TUBULAÇÕES

O presente trabalho tem como finalidade expor as atividades desenvolvidas pelo Centro de Pesquisas Pitométricas (C.P.P.), da Superintendência de Água e Esgotos da Capital (SAEC) no levantamento das condições de funcionamento do sistema de abastecimento de água de São Paulo.

Assim é que, após um apanhado geral dos estudos viáveis através de medições com tubos PITOT, quais sejam, aferição de medidores, determinação de curvas de rendimento de estações de recalque, determinação de consumo e demanda em rédes de distribuição, capacidade real de adutoras, apresenta ainda os processos usados para a instalação de pontos de medição e obtenção dos dados básicos para os estudos supra citados.

A título de exemplo prático de tais estudos, apresentamos uma série de dados obtidos em adutoras do sistema de abastecimento de São Paulo, sua interpretação, hipóteses causais formuladas, análise destas e apresentação da solução viável.

Uma sumária descrição dos processos de limpeza das paredes internas de tubulações, em uso nos EUA, fundamenta a sua aplicabilidade. Uma rápida estimativa de custo efetuado para 2 adutoras de gravidade do sistema, comprova a sua viabilidade econômica e alto resultado a ser esperado em termos de benefício/custo.