

# ATIVIDADES DO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA NO CAMPO DA ENGENHARIA SANITÁRIA

Prof. CARLITO FLAVIO PIMENTA

## RESUMO

Em 1947, foi criado o Laboratório de Hidráulica, inicialmente, apenas com interesse didático; este objetivo foi ampliado em 1952, com a introdução de pesquisas semi-industriais em protótipos e modelos reduzidos. Foram ampliadas as instalações e equipamentos, graças ao amparo financeiro do Estado e ao incentivo do Corpo Docente da Escola Politécnica.

Foi transferido em 1952 em caráter provisório para o «campus» da Cidade Universitária, por necessidade de mais espaço para novas instalações fixas e equipamentos, na expectativa da construção do prédio definitivo, sendo que da área destinada aos modelos reduzidos e instalações (12.600 m<sup>2</sup>), a parcela de 40%, já foi terminada. Atualmente outros 20% desse total estão sendo construídos, achando-se em fase de acabamento.

Em 1957 foi celebrado convênio entre a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e o Departamento de Águas e Energia Elétrica DAEE do Estado de São Paulo.

Este convênio propiciou a atual estrutura administrativa dotada de grande flexibilidade, unindo o espírito de pesquisa universitário à capacidade empreendedora dos órgãos autárquicos do Estado. Outro convênio mantido pelo Laboratório com o BNDE, a partir de 1966.

Graças a êsses convênios o Laboratório, possui atualmente ótimas condições para atender entidades públicas e particulares, que solicitam pesquisas industriais em ritmo crescente.

Nos últimos cinco anos grande foi a colaboração do Laboratório de Hidráulica no campo da Engenharia Sanitária, destacando-se os estudos em modelo reduzido das Barragens que se destinam ao armazenamento de água potável e os ensaios hidro-mecânicos de aferição de Hidrômetros, teste de bombas e válvulas.

Entre as barragens que tiveram seus ensaios realizados em modelo reduzido destacam-se a do Juqueri, Atibainha, Cachoeira e Ponte Nova.

Tendo cada uma delas apresentado um aspecto especial que mereceu maior atenção nos ensaios, teve com isso o Laboratório representado por seus engenheiros, a oportunidade de examinar os mais diversos problemas que podem surgir na construção de uma barragem, aumentando assim a sua experiência no setor.

No setor de ensaios hidro-mecânicos, prepara-se o Laboratório para adentrar numa fase de grande expansão, já agora às vésperas de inauguração de suas novas instalações, sem dúvida as maiores da América Latina.

O uso da aparelhagem eletrônica e a automatização de ensaios com utilização de computador estão assegurados nos planos das novas instalações.

## INTRODUÇÃO

O Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, foi criado em 1947, anexo à Cátedra n.º 11 — Hidráulica, Hidráulica Urbana e Saneamento.

De início, tinha o Laboratório, apenas finalidades didáticas, mas, a partir de 1952, em virtude de solicitações recebidas de entidades pú-

\* Diretor Geral do Departamento de Águas e Energia Elétrica — DAEE.

blicas e particulares, teve ampliados seus objetivos com a realização de pesquisas industriais, em protótipos e em modelos, procurando sempre acompanhar o desenvolvimento técnico do país no campo da Hidráulica.

O modesto Laboratório viu então crescerem, rapidamente, suas instalações fixas e equipamentos, amparado financeiramente pelo Estado e recebendo estímulo do Corpo Docente da Escola Politécnica. A exigência de espaço para os modelos determinou, em meados de 1952, a sua transferência para o «campus» da Cidade Universitária, onde se instalou provisoriamente, enquanto aguardava a execução do edifício definitivo.

O projeto final prevê, para as dependências destinadas à construção de modelos e instalações experimentais, uma área coberta de 12.600 m<sup>2</sup>, da qual 40% foi terminada e se encontra em utilização, desde meados de 1962. Na fase de ampliação, empreendida atualmente, encontra-se em fase de acabamento mais 20% desse total.

O Laboratório mantém também convênios com o D. A. E. E. desde 1957 e com o B. N. D. E. desde 1966.

O convênio com o D. A. E. E. permitiu dar assistência ao Governo do Estado de São Paulo no campo da Engenharia Hidráulica, seja como atividade específica de laboratório, seja como consulta em geral.

O convênio com o B. N. D. E. visa incorporar de maneira definitiva, ao seu campo de atividades industriais, o estudo experimental de máquinas hidráulicas e equipamentos hidro-mecânicos, bem como propiciar o teste de recepção de protótipos tais como bombas, turbinas, etc.

A comunhão de interesses das instituições, que se utilizam da assistência do Laboratório, propiciou ótimas condições para uma atividade especificamente de interesse do Saneamento.

É por isto, que para informar aqueles que no país desenvolvem atividade específica sanitária, apresentamos sinteticamente a série dos principais trabalhos realizados nos últimos cinco anos neste setor do Laboratório. Não serão mencionados portanto os demais trabalhos desenvolvidos nos setores de Hidráulica de Barragem, Fluvial, Marítima e Sedimentologia que não se relacionam com a Engenharia Sanitária.

## 1 — MODELO REDUZIDO DA BARRAGEM DE JUQUERI

A obra está localizada no rio do mesmo nome a jusante da Cidade de Mairiporã, na região

da Serra da Cantareira, sendo a obra central do sistema «Juqueri», para abastecimento do Grande São Paulo.

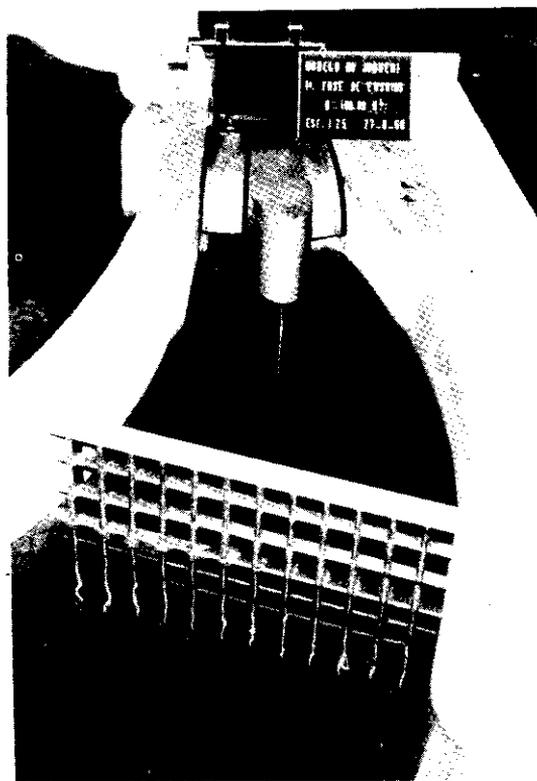


Foto 1 — Zona de Aproximação do Extravador.

Os estudos em modelo reduzido foram solicitados pela COMASP com o projeto da SERTÉ S/A. Engenharia, tendo os ensaios se restringido ao sistema do extravasor, compreendendo:

- Zona de aproximação, canal de acesso, pilar central, comportas, perfil vertente, dispositivo de descarga mínima e embocadura do túnel.
- Túnel de descarga com aeradores e túnel de desvio.
- Bacia de dissipação e trecho do canal de restituição.

O modelo foi construído na escala geométrica de 1:25 — ocupando uma área aproximada de 40 m<sup>2</sup>, a vazão máxima ensaiada foi de 250 m<sup>3</sup>/s o que equivale a uma vazão no modelo 70 l/s. O túnel terá um diâmetro de 4,5 m o que equivale no modelo a uma tubulação em acrílico de 16 cm.

A parte do modelo que mereceu maior atenção foi a da bacia de dissipação devido à cur-

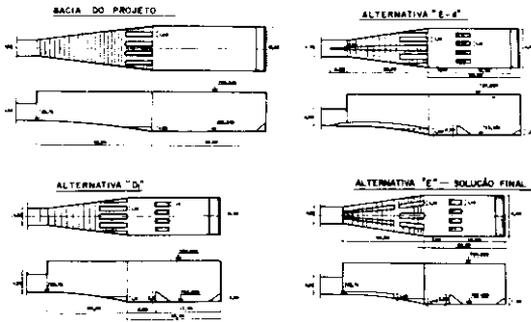


Foto 2 — Algumas Bacias de dissipação ensaiadas.

vatura do túnel de descarga. Uma das maiores dificuldades encontradas foi a de se controlar as pequenas vazões, isto é, vazões abaixo de 50 m<sup>3</sup>/s.

Pois para estas vazões os jatos d'água acompanhavam a curvatura do túnel até a saída, acarretando uma concentração de jato na parede da bacia provocando uma corrente rápida que saía da bacia sem nenhuma dissipação.

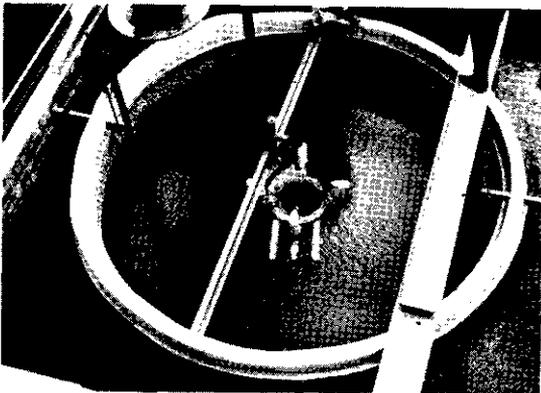


Foto 3 — Vista do vertedor «Tulipa».

Para solucionar a questão das pequenas vazões, recorreu-se à colocação de estrias, para concentrar mais os filetes líquidos em torno do eixo da bacia.

## 2 — BARRAGEM DE ATIBAINHA

É uma das quatro barragens do Sistema Juqueri. Situada a montante do reservatório do Juqueri, nas proximidades de Atibaia, represando as águas do rio de mesmo nome.

Este estudo foi solicitado pela COMASP e o projeto foi elaborado pela Hidroserviços Engenharia de Projetos Ltda.

O estudo em modelo reduzido teve como objetivo a verificação dos comportamentos Hidráulicos de:

- a) perfil da tulipa
- b) pilares da zona de aproximação
- c) poço e anel de tomada
- d) cotovelo
- e) túnel
- f) bacias de dissipação de energia.

As características principais da barragem, que foram reproduzidas em modelo são:

- a) Tipo de extravasor — perfil tulipa
- b) Diâmetro da tulipa — 6,5 m
- c) Diâmetro do poço — 3,0 m
- d) Extensão do túnel — 182,0 m
- e) Desnível — 30,0 m
- f) Comprimento total da bacia de dissipação — 45,0 m
- g) Largura da bacia — 5,0 m
- h) Vazão máxima de enchente — 73 m<sup>3</sup>/s
- i) Descarga permanente a jusante da barragem — 1 a 8 m<sup>3</sup>/s
- j) Vazão regularizada por abastecimento — 4 m<sup>3</sup>/s
- k) Escala do modelo — 1: 11,54.

Foram realizados os seguintes estudos neste modelo:

- a) definição do perfil e seu diâmetro
- b) sistema de aeração para controle da vazão e das depressões (pressões negativas)
- c) estudo do poço e do cotovelo
- d) fixação da declividade do túnel
- e) comportamento da bacia de dissipação
- f) comportamento do anel de tomada

## 3 — BARRAGEM DE CACHOEIRA

Situada nas proximidades da Barragem de Atibaia, represa, as Águas do rio Cachoeira sendo os dois reservatórios interligados por meio de um túnel.

Este estudo também foi solicitado pela COMASP — Cia. Metropolitana de Água de São Paulo e o projeto foi elaborado pela Hidroserviços — Engenharia de Projetos Ltda.

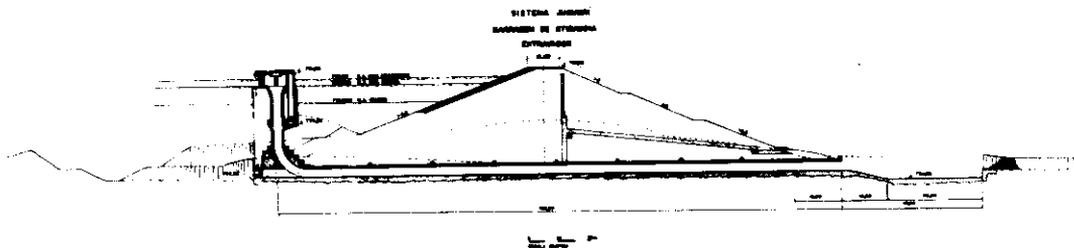


Foto 4 — Perfil do extravasor.

Os estudos em modelo reduzido foram semelhantes aos feitos para o caso de Atibaína.

As características principais da barragem, que foram reproduzidas em modelo são:

- a) Tipo de extravasor perfil tulipa
- b) Diâmetro da tulipa 10,0 m
- c) Diâmetro do poço = 4,0 m
- d) Extensão do túnel = 170,0 m
- e) Desnível = 31,0 m
- f) Comprimento total da bacia de dissipação = 60,0 m
- g) Largura da bacia 10,0 m
- h) Vazão regularizada para abastecimento 5,0 m<sup>3</sup>/s
- i) Vazão máxima de enchente 173,0 m<sup>3</sup>/s

- j) Descarga permanente à jusante da barragem 25,5 m<sup>3</sup>/s (máxima)
- k) Escala do modelo 1: 15,38.

#### Observações

- a) Em vista do comportamento não satisfatório do anel de tomada, tanto para Atibaína como para Cachoeira, foi necessário fazer um estudo detalhado em modelo maior (escala 1:8 = Modelo Cachoeira).
- b) As escalas 1: 11,54 e 1: 15,38, respectivamente para os modelos de Atibaína e Cachoeira, surgiram em vista da escassez de tempo disponível, e da necessidade de se fazer uma adaptação a um banco, onde havia sido realizado um estudo similar.

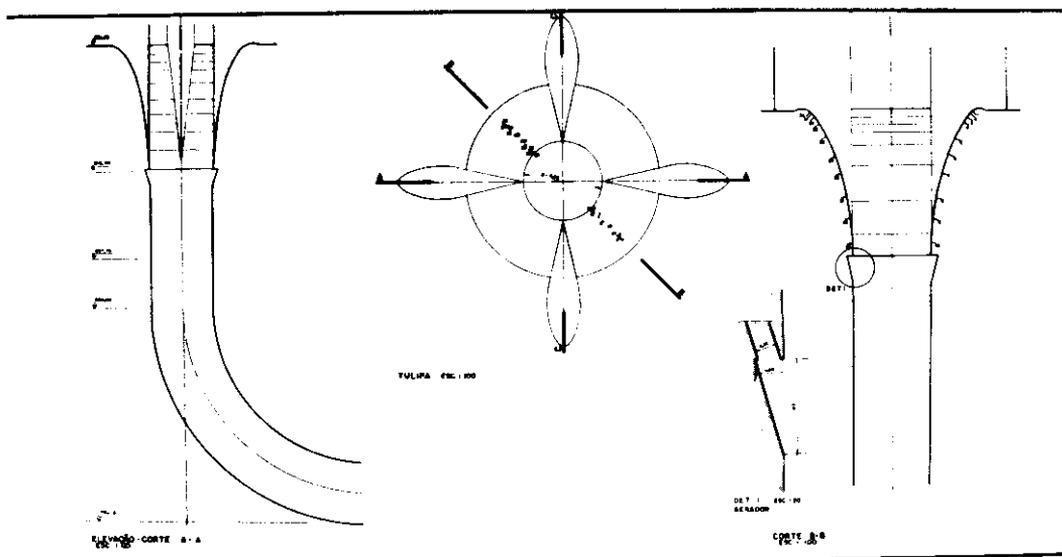


Foto 5 — Detalhe dos pilares, aeração e localização das tomadas de pressão.

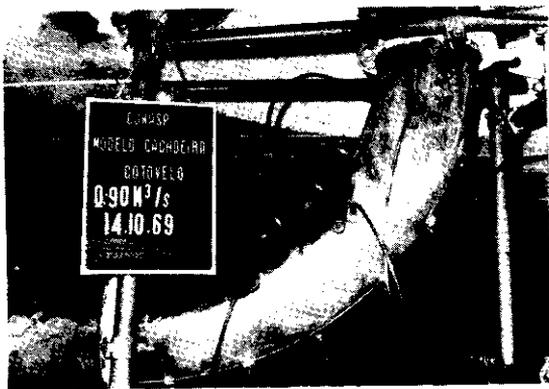


Foto 6 — Modelo Cachoeira (cotovelo).

#### 4 — MODELO DO ANEL DE TOMADA (Barragens de Cachoeira e Atibainha)

Foi assim denominado o dispositivo que foi projetado para garantir uma vazão permanente a jusante das barragens de Atibainha e Cachoeira.

Consiste em um anel, abraçando o poço a meia altura. As interligações entre o anel e o poço são feitas por meio de quatro janelas. Para o controle das vazões através deste anel existe uma comporta retangular com o comando junto a um dos pilares da tulipa.

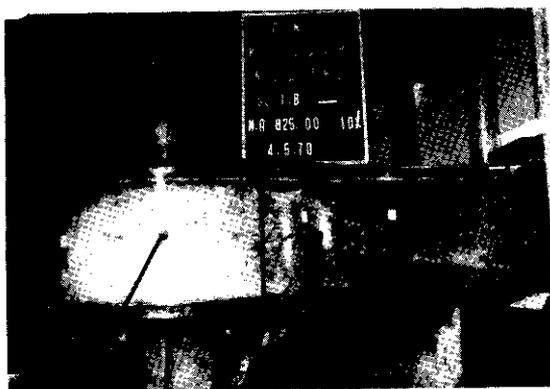


Foto 7 — Solução Final.

O estudo em modelos de Atibainha e Cachoeira, mostrou diversas irregularidades no anel, tais como: aparecimento de vórtice, escoamento externamente irregular, vazão abaixo da do projeto.

Em vista disso, foi feito um modelo do anel de tomada na escala 1:8, para Barragem Cachoeira, onde foram realizadas diversas modificações, chegando-se a uma solução aceitável.



Foto 8 — Alternativa em Espiral.

Paralelamente a este modelo, foram feitas três alternativas do anel na escala 1:25:

- a) com três janelas;
- b) com duas janelas;
- c) em espiral.

A alternativa em espiral, em princípio deu bom resultado, porém o estudo não foi prosseguido devido a escassez de tempo.

#### 5 — BARRAGEM DE PONTE NOVA

Situada no Alto Tietê, no Município de Mogi das Cruzes, a Barragem de Ponte Nova foi ensaiada no Laboratório de Hidráulica por solicitação do S.V.T., com o objetivo de se estudar as características hidráulicas do extravasor.

Os ensaios apresentaram duas fases: na primeira foi estudado o extravasor, no que diz respeito às condições de aproximação, canal do extravasor e a bacia de amortecimento. Na segunda fase foi estudado o extravasor em conjunto com as válvulas dispersoras.

O modelo foi construído na escala de 1:25 com um contorno da alvenaria de tijolos, o qual

foi preenchido para reprodução da topografia de fundo. Construiu-se ainda o canal de aproximação do túnel, a embocadura, grade e a torre.

O canal do extravasor e o túnel de descarga foram executados em acrílico. As válvulas dispersoras foram construídas em latão.

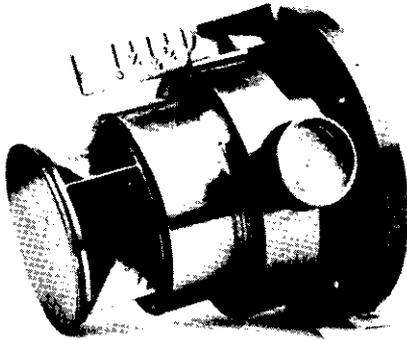


Foto 9 — Valvula dispersora.

Foram realizados os seguintes estudos:

1. Verificação das condições de aproximação do vertedor.
2. Estudo da embocadura do canal extravasor.
3. Levantamento da linha d'água ao longo do canal extravasor.
4. Verificação das condições de afastamento das águas e restituição ao alveo do rio.
5. Curvas de descarga.
6. Aproximação na embocadura do túnel.

7. Verificação das condições hidráulicas na bacia de amortecimento.
8. Verificação das condições hidráulicas de funcionamento das válvulas dispersoras.

#### 6 — TESTE DE RECEPÇÃO DE ADUTORA DE CONCRETO, MOLDADO «IN LOCO»

A Adutora destina-se a reforçar o abastecimento de águas da Cidade de Salvador — Estado da Bahia.

O teste foi solicitado pela S.A.E.A. — Superintendência de Águas e Esgotos do Recôncavo.

Os testes realizados nos condutos de concreto armado moldados «in loco» da adutora de água de Joanes Bolandeira, tiveram as seguintes finalidades:

Verificação do comportamento e da intensidade de vazamentos do conduto de concreto, sob a ação de pressão hidrostática de ensaio.

Verificação de possíveis defeitos nas «Especificações para a execução de uma linha adutora, em concreto armado, moldado «in loco», para as obras da Adutora de Joanes Bolandeira».

O teste foi realizado num trecho da adutora de 17,60 m. de comprimento.

Para realização do teste foi utilizada a seguinte aparelhagem:

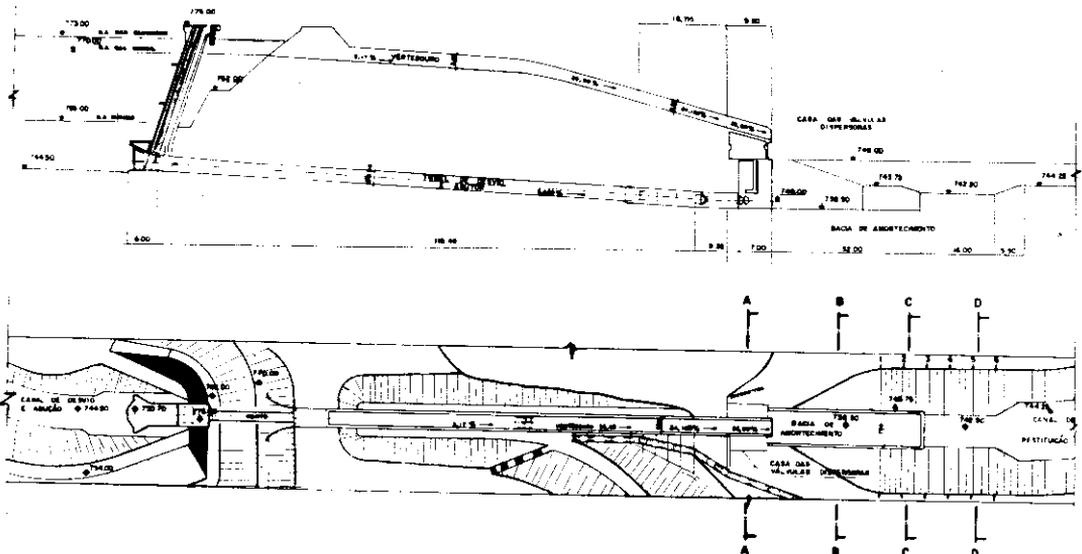


Foto 10 — Planta e perfil do Extravasor.

## 7 — VALVULA BORBOLETA DE 12"

- a) Tampões de ferro para vedação das extremidades do conduto de concreto.
- b) Circuito de enchimento do conduto de concreto de água.
- c) Câmara de pressão.
- d) Reservatório de perdas.
- e) Tambor de gás.
- f) Circuitos de ligação entre a câmara de pressão, reservatório de perdas, tambor de gás e conduto de concreto.
- g) Conjunto motor-bomba.
- h) Manômetros para controle de pressão.
- i) Registros de gaveta, válvula de retenção e válvula de segurança.

A pressão de ensaio foi de uma e meia vezes a pressão de trabalho, ou seja, 25 m.c.a.

### Estudos Realizados

O teste realizado com o conduto de concreto consistiu em se executar duas vezes a seguinte série de operações:

- a) medida da vazão necessária para manter o conduto à pressão de ensaio (25 m.c.a.) durante o intervalo de tempo de uma hora.
- b) colocado o conduto sob a pressão de ensaio (25 m.c.a.) realizar leituras no manômetro indicador de pressão do conduto, durante 24 horas, determinando assim a queda de pressão durante esse intervalo de tempo.

Para cada série de operações foi construído um gráfico  $p = f(t)$ . Comparando-se os dois gráficos, poderemos ter dois casos:

- a) o gráfico da segunda série de operações, acusa para cada valor dos tempos (t), uma pressão maior ou igual à correspondente pressão no gráfico da primeira série de operações. Estamos neste caso, nas condições preconizadas na norma.
- b) o gráfico da segunda série de operações, acusa para cada valor dos tempos (t), uma pressão menor que a correspondente no gráfico da primeira série de operações, neste caso tudo leva a crer que, sob o efeito do primeiro teste realizado, permaneceu uma deformação residual o que indicaria uma deformação não perfeitamente elástica do conduto.

Estes estudos evidenciaram a possibilidade de realização dos testes preconizados na norma já citada.

A engenharia Orplan solicitou os ensaios de uma válvula tipo Borboleta de 12", de diâmetro nominal, que será instalada em tubulação da Petrobrás, que transporta água do mar. A válvula é acionada por um mecanismo elétrico.

A válvula foi projetada e construída pela firma Bopp & Reuther e os ensaios serviram para elucidar principalmente questões relativas à perda de carga localizada considerando a variação do ângulo de abertura do disco.

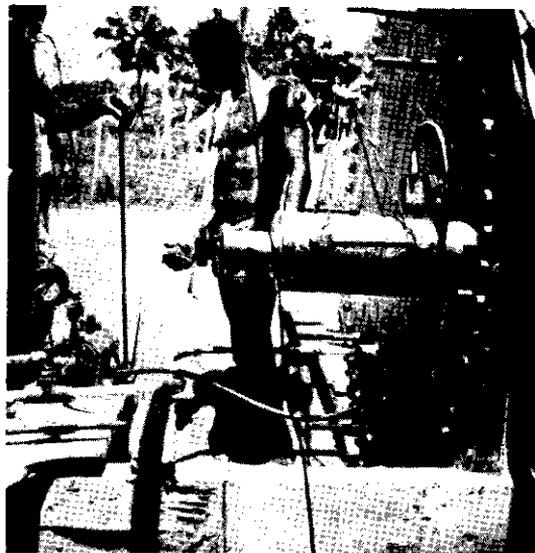
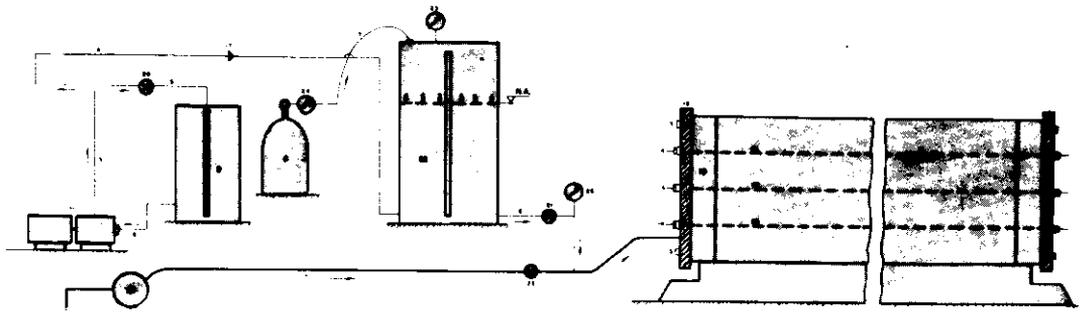


Foto 11 — Vista parcial da instalação.

Os dados técnicos fornecidos pela Orplan foram:

- 1 Fluido nas condições de trabalho: água do mar.
- 2 Limites de vazão 0,073 m<sup>3</sup>/s a 0,192 m<sup>3</sup>/s.
- 3 Pressão de operação 100 psi = (7 kg/cm<sup>2</sup>).
- 4 Flanges: Padrão ASA, 250 L.s. com furos de 32 mm diâmetro do círculo de furação 45 mm.

A partir das cargas medidas em várias seções de tubulação fez-se a diferença de dois valores de perda de carga, um correspondente à perda localizada e o outro correspondente somente à perda distribuída, que convenientemente ajustada para um comprimento único de tubulação permite calcular com precisão a perda localizada propriamente dita.



- |  |   |   |
|--|---|---|
| 1 LINHA DE ENCHIMENTO DO CONDUITO                            | 9 TAMBOR DE GÁS COMBUSTÍVEL   | 18 ANEL DE CONCRETO FUNDIDOS PARA O TESTE |
| 2 LINHA DE ENCHIMENTO  | 10 RESERVATÓRIO DE PERDAS   | 17 VÁLVULA DE RETENÇÃO                    |
| 3 LINHA DE RECALQUE DA BOMBA                                 | 11 CÂMARA DE PRESSÃO  | 18 CONCRETO                               |
| 4 LINHA DE RECALQUE QUE ADUZ ÁGUA À CÂMARA DE PRESSÃO        | 12 CONJUNTO MOTOR BOMBA   | 19 MOTOR BOMBA                            |
| 5 LINHA DE RECALQUE DE RESTITUIÇÃO AO RESERVATÓRIO DE PERDAS | 13 TAMPÕES DE FECHAMENTO  | 20 REGISTRO DE GAVETA                     |
| 6 LINHA DE SUÇÃO DA BOMBA                                    | 14 PARAFUSOS DE FIXAÇÃO DOS TAMPÕES AO TUBO PARA GARANTIR ESTANQUEIDADE | 21 REGISTRO DE GAVETA                     |
| 7 LINHA DE ALIMENTAÇÃO DE GÁS PARA O RESERVATÓRIO            | 15 PARAFUSOS DE ANCORAGEM E DE TRACÃO DOS TIRANTES DE FERRO             | 22 REGISTRO DE GAVETA                     |
|  | 16 TIRANTES   | 23 MANÔMETRO                              |
|  |   | 24 MANÔMETRO                              |
|  |   | 25 MANÔMETRO                              |

Foto 12 — Esquema geral da instalação.

Os resultados foram apresentados em papel Bilogarítmico, dando a variação de K em função do  $n_r$  de Reynolds. A família de curvas obtidas representa as várias posições do disco da válvula.

As posições intermediárias foram obtidas girando-se um certo número de voltas do volante, porém, as folgas mecânicas impedem correlacionar exatamente o número, de voltas com o ângulo de abertura do disco.

A máxima abertura que corresponde a posição A.2, representa as maiores perdas de carga observadas para tôdas as vazões de ensaio.



Foto 13 — Vista geral da instalação

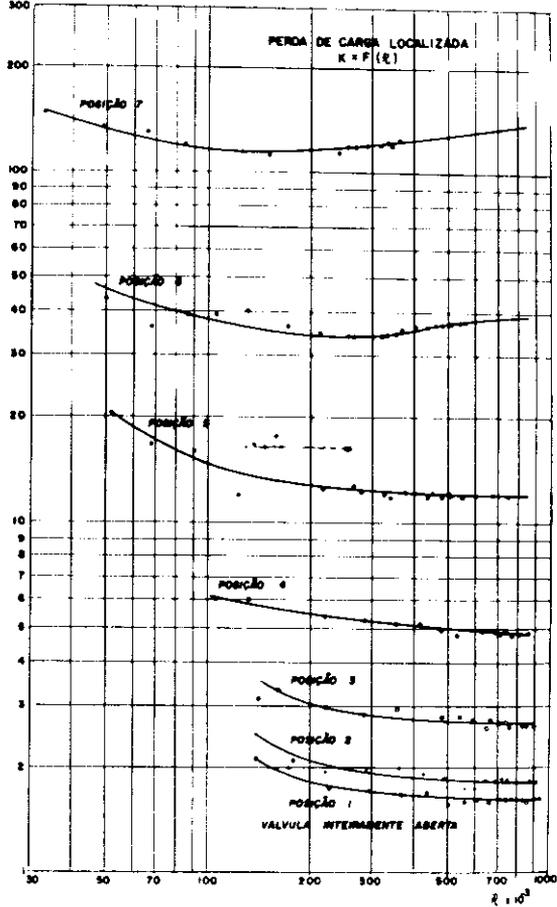


Gráfico 14

No gráfico, elaborado com os dados do ensaio, como se esperava, observaram-se perfeitamente os patamares das curvas, indicando ser constante o valor de K para a faixa de valores da vazão de trabalho.

8 — ENSAIO DE VÁLVULAS REDUTORAS DE PRESSÃO

Para a Superintendência de Água e Esgotos da Capital (antigo D A E ), foram deter-

minadas as pressões na entrada e saída de válvulas redutoras de pressão.

### Características Técnicas

Montagem de um circuito hidráulico de 75 mm alimentado pela rede de abastecimento de água da Cidade Universitária.

As pressões foram medidas por um manômetro do tipo Bourdon na entrada das válvulas e um manômetro diferencial de mercúrio de saída.

Para medir a vazão foi utilizado um vertedor triangular devidamente aferido e colocado no terminal do circuito.

Foi tomada a temperatura da água no decorrer dos ensaios.

### Estudo Realizado

Foram ensaiadas 3 válvulas redutoras de pressão a saber:

- 1 Válvula R. S. Hall
- 2 Válvula Hitter
- 3 Válvula Jogofe

O ensaio de cada válvula seguiu o seguinte roteiro:

- a) montagem da válvula no circuito hidráulico.
- b) regulagem da válvula pelo fabricante.
- c) determinação das pressões na entrada e na saída da válvula para uma série de vazões.

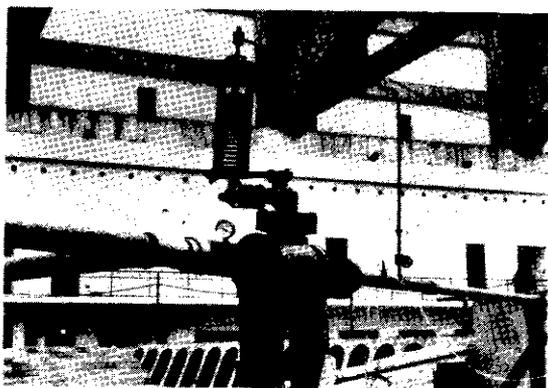


Foto 15 -- Instalação para ensaio da válvula R. S. Hall.

Com o resultado dos ensaios foram construídos para cada válvula 3 gráficos:

- a) gráfico da variação da pressão na entrada da válvula em função da vazão.

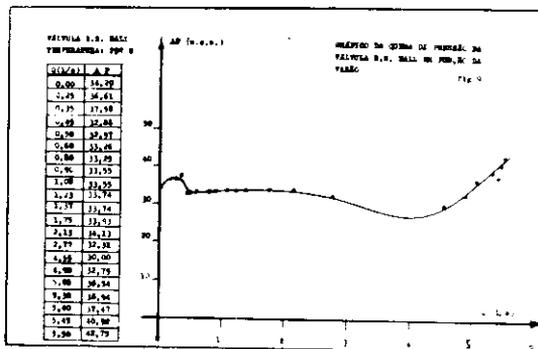


Gráfico 16

- b) gráfico da variação da pressão na saída da válvula em função da vazão.
- c) gráfico da variação da queda de pressão na válvula em função da vazão.

## 9 — TESTE DE ESTANQUEIDADE E MEDIDAS DE PERDA DE CARGA LOCALIZADA NUMA VÁLVULA DE DESCARGA DE 1 1/2"

1) **Cliente:** Metalúrgica Rio S.A.

2) **Finalidade do Estudo**

- 2.1 Medidas de perda de carga localizada, nas condições de vazão mínima de 1,9 l/s e vazão máxima de 3,1 l/s.
- 2.2 Realização de testes de estanqueidade.

3) **Características Técnicas**

Elementos fornecidos pela Metalúrgica Rio S.A.:

Corpo de prova: uma válvula Rio de 1 1/2", com registro de gaveta no mesmo corpo.

vazão máxima de ensaio: 3,1 l/s.

vazão mínima de ensaio: 1,9 l/s.

fluido para as condições de trabalho: água da rede de abastecimento da Cidade de São Paulo.

pressão de operação prevista: a disponível na rede de abastecimento.

pressão a ser atingida no teste de estanqueidade: 150 psi.

4) **Observações**

- 4.1 O fenômeno de perda de carga foi estudado na única condição de registro totalmente aberto e válvula acionada.

4.2 - Os ensaios de estanqueidade foram feitos com registro aberto e válvula não acionada.

## 10 — MEDIÇÕES DE VAZÃO EM CONDUTOR FORÇADOS DA REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE SÃO PAULO

Os levantamentos visaram a determinação das vazões em alguns pontos da rede de abastecimento d'água para análise de problemas relativos ao consumo d'água de certas áreas da capital e foram efetuados para a S. A. E. C. Superintendência de Água e Esgotos da Capital (antigo D. A. E. C.).

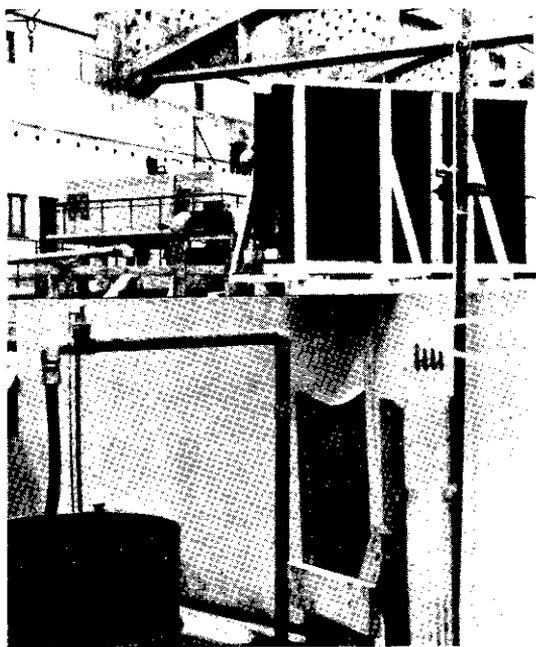


Foto 17 — Montagem para o ensaio.

### Características Técnicas

A determinação das vazões foi realizada através da medida das velocidades numa vertical do conduto forçado.

As velocidades foram medidas com um tubo de Pitot especial, munido de um manômetro diferencial de coluna d'água e aferido no canal de carena da Cidade Universitária.

O processo de cálculo usado para se determinar a vazão a partir das velocidades medidas, foi escolhido experimentalmente, ou seja, medindo-se as velocidades numa tubulação de vazão conhecida da mesma ordem de grandeza das va-

zões a serem medidas, e em seguida calculando-se a vazão por vários processos analíticos admissíveis. Foi escolhido o processo de cálculo que apresentou valores mais próximos do valor real.

### Estudos Realizados

Foram realizadas medições em 12 pontos da rede de abastecimento de água, em tubulações com diâmetro variando de 350 mm a 1 200 mm, num total de aproximadamente 200 medições.

Para cada conduto, estabeleceu-se a curva de consumo diário de água.

Para a adutora Jabaquara-Moóca, as vazões medidas serviram para aferir as aberturas da comporta existente a montante dessa adutora e especificar o intervalo de aberturas em que a comporta deve trabalhar.

## 11 — TESTE DE HIDRÔMETRO

Para a COMASP (Companhia Metropolitana de Água de São Paulo), foi executado o levantamento, por pontos, da curva de erros da medida de vazão de um hidrômetro de 300 mm. de diâmetro, em várias condições de funcionamento fazendo-se a calibragem, a fim de que os erros observados ficassem no intervalo +2% e -2% da medida real, que é a tolerância recomendada pelas normas. Atualmente estão sendo calibrados mais dois hidrômetros um de 200 mm. e outro de 50 mm.

### Características Técnicas do Hidrômetro

Tipo: Woltmann

Diâmetro: 300 mm

Fabricação: Bopp & Reuther



Foto 18 — Detalhe de uma medição.





Foto 22 — Detalhe da montagem (Ensaio de filtragem).

A perda de carga é dada a partir de um manômetro diferencial ligado às câmaras anterior e posterior ao bocal.

Os ensaios foram realizados de modo a cobrir a faixa de valores, da vazão desde 0,1 l/s até 1,5 l/s, aproximadamente.

#### Considerações Teóricas

A perda de carga ( $\lambda$ ) em dispositivos desse tipo é dada pela expressão:

$$\lambda = K \frac{v^2}{2g} \quad (1)$$

onde  $v$  — velocidade média dos jatos,  $g$  — aceleração da gravidade;  $K$  — é um coeficiente adimensional que depende do número de Reynolds e da geometria da peça ensaiada.

Para altos valores do n.º de Reynolds, no regime de turbulência completa, o efeito da viscosidade torna-se desprezível, e  $K$  passa a depender, exclusivamente, da geometria da peça.

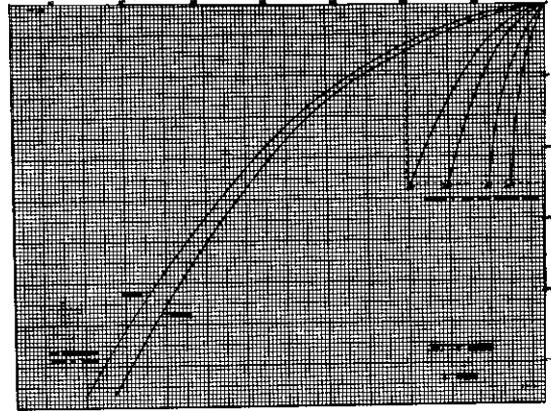


Foto 23 — Gráfico

Aplicando o Teorema de Bernoulli entre dois pontos, um em cada câmara, da caixa de testes; e a lei de Stevin ao manômetro diferencial, teremos a expressão final:

$$\lambda = 12,6 \Delta h \quad (2)$$

#### Esquema da instalação:

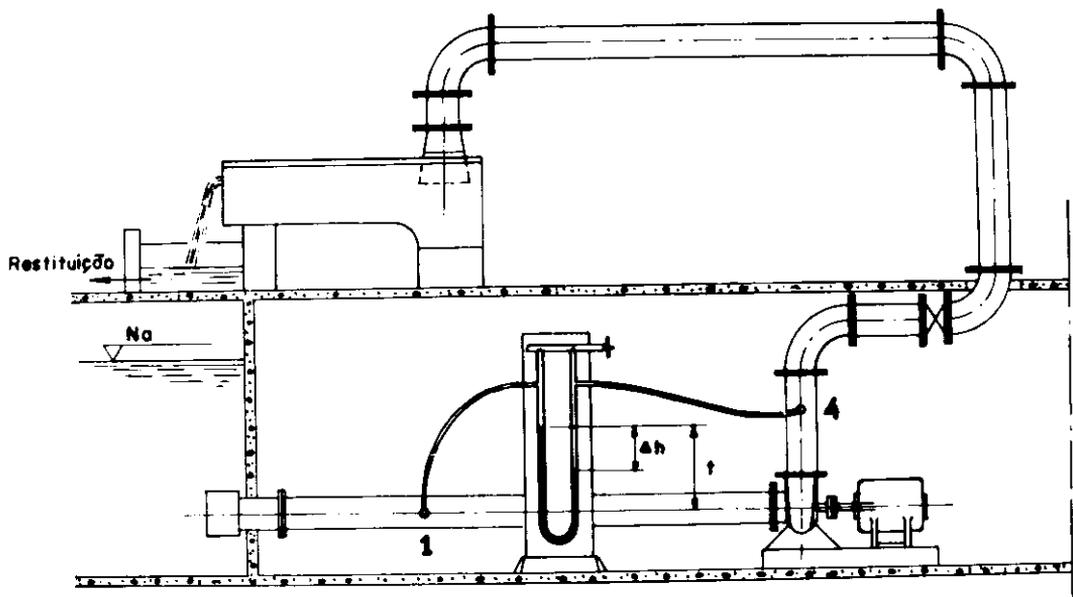


Foto 24 — Gráfico

onde  $\Delta h$  é a diferença de coluna de mercúrio indicada pelo manômetro diferencial.

### Resultados Obtidos

Os valores obtidos em cada ensaio foram anotados em folhas próprias, onde encontramos os valores  $H_1$  e  $H_2$  (lidos no manômetro acoplado ao Venturi) e que nos possibilitou a determinação da vazão, e ainda os valores de  $(h_1)$  e  $(h_2)$ , e  $\Delta h$  através do qual pela fórmula (2) determinamos  $\lambda$ .

De acordo com os valores mencionados acima, construiu-se o gráfico ao lado representado.

### 13 — ENSAIO DE BOMBAS

A firma Bombas Albrizzi-Petry S/A., solicitou os ensaios de aferição em sete bombas, fabricadas para a Superintendência do Vale do São Francisco — SUVALE.

O estudo objetivou o levantamento, por pontos, das curvas características das bombas, quais sejam:

$H_m = f(Q)$  (altura manométrica em função da vazão)

$\eta = f(Q)$  (rendimento da bomba em função da vazão)

$N_{eixo} = f(Q)$  potência consumida pela bomba em função da vazão.

As bombas eram 4 do modelo  $\beta$  200 e 3 modelo  $\beta$  250.

O banho de ensaio é composto de um reservatório de grandes dimensões, uma tubulação de sucção, uma tubulação de recalque, na qual é inserido um registro para o controle da vazão e um conjunto de dois vertedores de soleira retangular, de capacidade nominal de 100 l/s utilizados para a medida da vazão.

A medida das alturas manométricas foi feita com o auxílio de um manômetro diferencial de mercúrio.

A medida da potência elétrica consumida foi feita pelo processo dos dois Wattímetros.

A rotação foi medida com o auxílio de tacometro portátil.

A vazão foi obtida através do conjunto de vertedores já mencionados, sendo que estes foram previamente aferidos e nêles, a determinação das cargas foi feita com pontas limnimétricas com precisão de 0,1 mm.

Os ensaios foram programados de modo a permitir o levantamento, por pontos, das curvas  $H_m = f(Q)$ ,  $N_{eixo} = f(Q)$ , dos conjuntos motor bomba.

Os resultados foram apresentados em formas de gráficos, nos quais foram plotados as curvas acima mencionadas.

### 14 — SETOR DE ENSAIO DE MAQUINAS

A falta de um Laboratório para ensaio de máquinas e equipamentos hidráulicos vem preocupando os técnicos industriais deste Setor que viam nessa lacuna um ponto de estrangulamento de nosso desenvolvimento nesse campo específico.

Foi esse o principal motivo que levou à implantação no Laboratório de Hidráulica do setor de ensaio de máquinas e equipamentos hidráulicos, cuja finalidade é a de testar turbinas, bombas, comportas, registros, válvulas, etc.

Contará esse setor com um edifício ocupando uma área de 2.400 m<sup>2</sup> onde estarão instalados o túnel de cavitação, o canal hidrométrico, os bancos de ensaio de bombas e os demais dispositivos para as diversas finalidades.

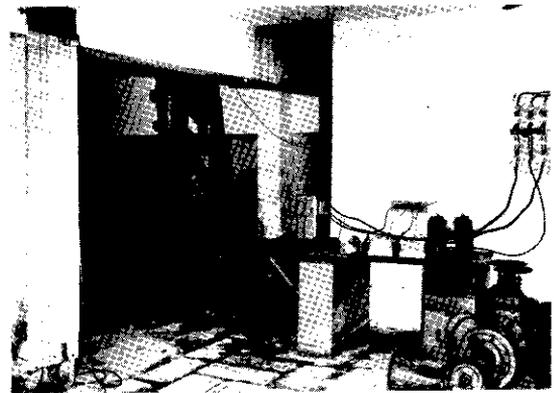


Foto 25 — Ensaio de Máquinas.

O túnel de cavitação a ser utilizado para modelos de turbinas consta de um circuito fechado de 2,20 m de diâmetro e cujo eixo se desenvolve em um plano vertical. Possui incorporado ao circuito uma bomba de dupla hélice, uma bomba vácuo, um medidor de vazão de grande precisão, uma válvula cônica para regulação de pressão, tranquilizadores, desaerador, eletrodinamômetro a ser acoplado à turbina em teste e outros equipamentos.

1 — Túnel de cavitação

2 — Canal hidrométrico

- 3 --- Bancos de ensaio de bombas
- 5 --- Modelo de ensaio
- 6 --- Bomba Kaplan
- 7 --- Medidor de cortina móvel
- 8 --- Reservatórios inferiores
- 9 --- Reservatórios elevados
- 10 --- Escritórios
- 11 --- Laboratório de eletrônica
- 12 --- Processamento de dados
- 13 --- Ponte rolante
- 14 --- Plataforma

O canal hidrométrico serve especialmente para o estudo do rendimento de turbinas e consta de um reservatório de nível constante, ali

mentado por uma bomba Kaplan especial, de passo variável através de um canal elevado no qual se instalará um medidor de vazão do tipo cortina móvel. Esse dispositivo permite medidas com erros da ordem de 0,1% de vazões até 2.800 l/s.

O canal hidrométrico poderá ser utilizado para a aferição de hidrômetros.

O banco de ensaio de bombas está capacitado a fazer ensaios de recepção em protótipos de grandes bombas inicialmente até potências da ordem 2.000 HP e pode ser utilizado também para pesquisa e outros ensaios mais elaborados.

O setor de ensaio de máquinas está sendo montado de forma a permitir a utilização da mais moderna aparelhagem eletrônica que permitirá até a completa automatização dos ensaios de rotina.

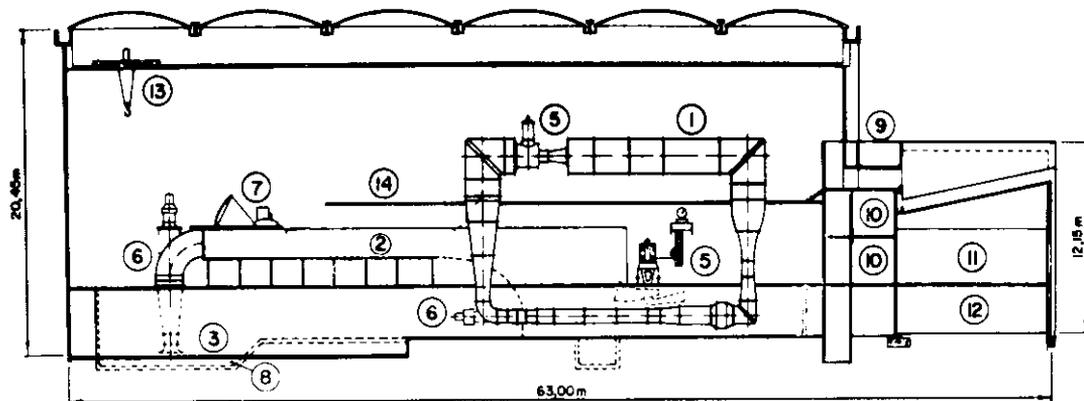


Foto 26 — Túnel de Cavitação.