

# Dissipação de Energia em Obras Hidráulicas de pequenas Dimensões

**Coronel LEONINO JUNIOR**

Professor e Chefe do Laboratório de Hidráulica e de Mecânica dos Flúidos, do Instituto Militar de Engenharia.

## I — O PROBLEMA

Tratando do estudo, sôbre modelo reduzido, de um dissipador de energia para o canal do extravasor da Barragem do Torto, que faz parte do sistema de abastecimento de água da cidade de Brasília, fomos conduzidos à concepção de um dispositivo de dissipação de energia de forma inteiramente nova que, em consequência dos excelentes e inesperados resultados que nos proporcionou, julgamos útil divulgar.

O estudo experimental foi realizado no Laboratório Hidrotécnico Saturnino de Brito, sob a nossa direção, com a eficiente colaboração do engenheiro Diney Tosta de Oliveira, que faz parte da equipe daquela organização. Embora se tratando de um problema de pequena envergadura, estamos certos de que, pela excelência dos resultados obtidos, o tipo de dissipador adotado poderá ser empregado em qualquer projeto de vulto, tudo dependendo apenas de uma questão de dimensionamento muito simples, para o qual damos uma base de partida no presente trabalho, com apóio nos valores observados no caso em apreço.

A fotografia n.º 1 nos dá uma idéia geral da situação, por ela se verificando que se tratava de uma pequena barragem-vertedor, de traçado parabólico, obedecendo a um perfil mais ou menos clássico, servindo de escoamento para um pequeno reservatório de acumulação e dando vazão para um canal de formato trapezoidal de seção composta, conforme se nota.

## II — O MODELO REDUZIDO

Os estudos realizados e as disponibilidades do laboratório nos levaram a construção de um modelo de escala 1:50 sem deformação, representado em parte nas fotografias 2, 3 e 4.

O tipo de construção foi o normal para casos idênticos, tendo sido empregada alvenaria de tijolos, com revestimento e acabamento em argamassa de cimento e areia, conforme se vê nas fotografias.

A alimentação do modelo foi feita por intermédio de um vertedor padrão, de formato triangular.

O trabalho experimental foi realizado segundo o processamento normal dos estudos sôbre modelo em casos análogos, bem conhecido dos que lidam com o assunto e, por isso poupamos a encargo de abordá-lo em detalhes.

A construção foi realizada com execução, em fundo móvel, das zonas em que havia possibilidade de erosões.

## III — A DISSIPACÃO DE ENERGIA

A vazão de projeto era de 150 m<sup>3</sup>/s, valor pequeno, porém compatível com as reduzidas dimensões da obra. O canal de fuga estava dotado da acentuada declividade de 0,0036 m/m, indo descarregar transversalmente ao leito de um rio de escoamento intermitente, sujeito a um regime de enxurradas, podendo dar margem, em certas situações desfavoráveis, à ocorrência de acentuadas erosões. Tratava-se de dissipar a energia da água escoada no canal, de modo

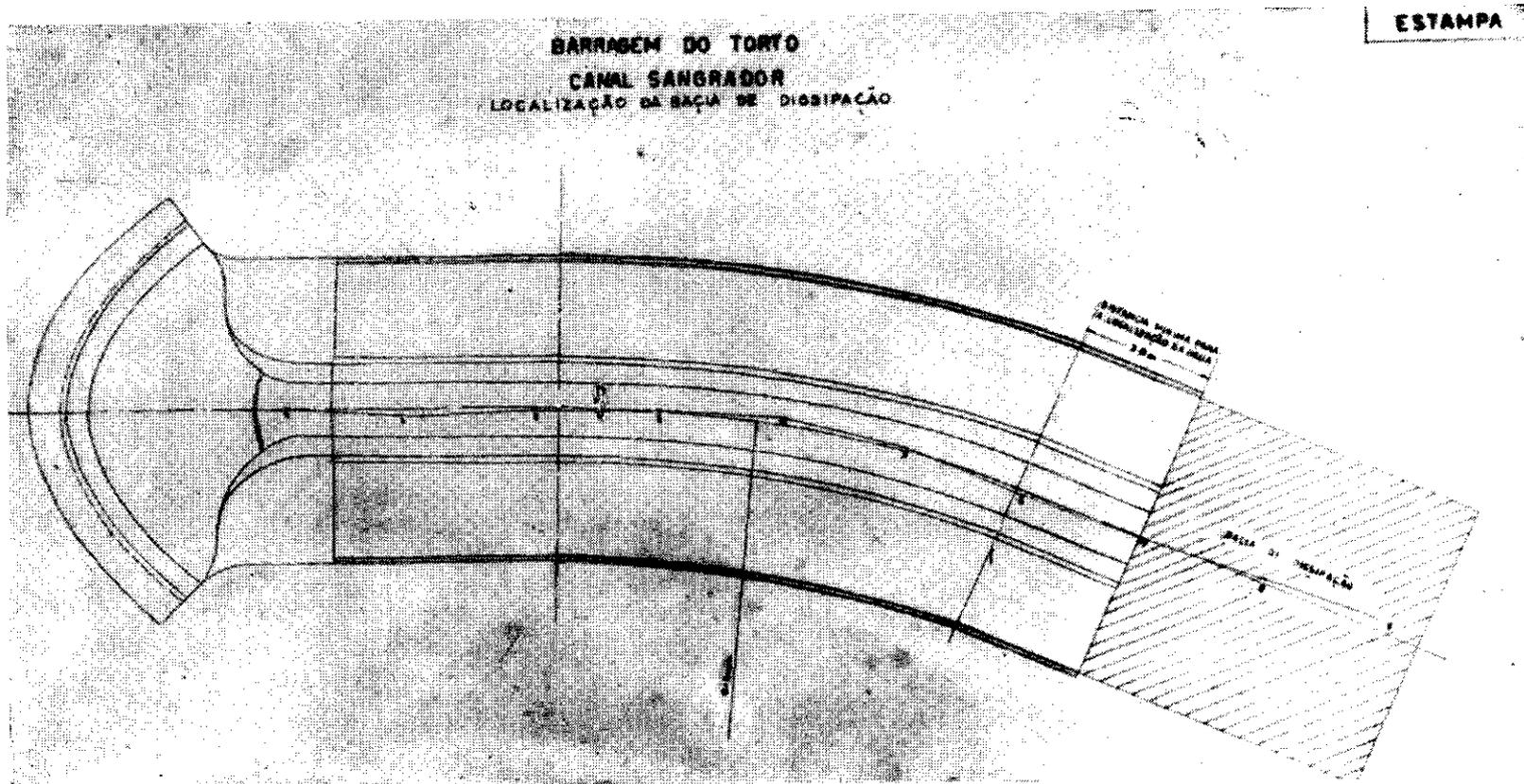


Fig. 1

Vê-se a situação geral das obras, com a crista do vertedor à esquerda, seguida do canal, terminando à direita com o local de implantação da bacia. É curioso notar que, apesar do efeito da curva que evidentemente se fazia sentir, resolvemos a situação com a disposição simétrica.



Fig. 2

O sistema geral de dissipação, visto de jusante, podendo-se notar a disposição adotada para os diferentes elementos.



Fig. 3

O sistema em funcionamento, visto de montante, com escoamento da vazão máxima. Notar a tranquilidade da lâmina, depois de ultrapassado o sistema.

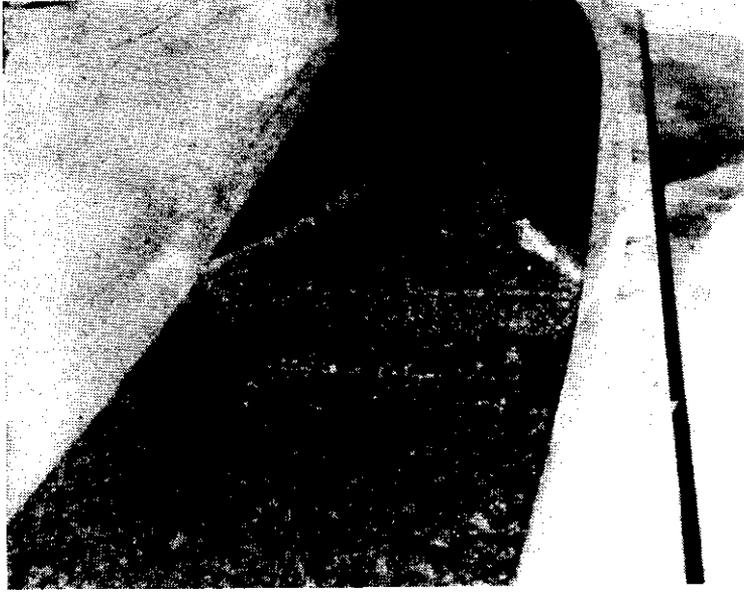


Fig. 4

Ainda o sistema em funcionamento, visto de jusante, notando-se a turbulência da dissipação.

a evitar, tanto quanto possível, a ocorrência dessas erosões, principalmente no local em que as águas escoadas no canal iriam retomar, a jusante, em situação quase perpendicular, o leito do outro rio.

Como se sabe, a dissipação de energia da água em obras de pequeno vulto, apresenta, às vêzes, aspectos mais difíceis de que em obras grandes, principalmente pelo fato de nestas últimas ter-se a possibilidade material e economicamente compensadora, de poder construir uma verdadeira bacia de dissipação, ocupando uma área grande compatível com as dimensões da obra.

Comparando-se, sob o aspecto de dissipação de energia, obras de grande e pequeno vulto, desde que as condições de encaminhamento da lâmina vertente sejam idênticas, evidentemente, o valor unitário da quantidades de energia a dissipar é o mesmo. Existe, no entanto, a grande dificuldade acima apontada, qual seja o contraste de se contar, no 1.º caso, apenas, geralmente, com uma área relativamente reduzida, na qual, devido às limitações orçamentárias, não se pede construir uma obra dispendiosa.

Seria absurdo, sob o ponto de vista técnico e grandemente desfavorável sob o aspecto econômico, criar, neste caso, uma bacia de grandes dimensões. Daí as dificuldades que surgem para o projetista, que forçosamente tem que apelar para os recursos de experimentação.

Foi o que fizemos no caso em apreço e iremos relatar como conseguimos resolver de modo tão simples e eficiente o problema, que julgamos merecedor de divulgação, para que aqueles que se encontrarem em qualquer oportunidade da mesma situação, possam ser inspirar nos resultados que obtivemos.

#### IV — O ESTUDO REALIZADO

Como de praxe, para não percorrer novamente caminhos já abertos por outros pesquisadores, procuramos, de início, consultar a bibliografia disponível sobre o assunto, inspirando-os, principalmente, nos trabalhos clássicos de Rehbock e sua consequente atualização feita pelo "Bureau of Reclamation" (\*). Segundo os critérios estabelecidos pelo último, chegamos ao dimensionamento do sistema clássico de dentes de concreto e do batente final corrido.

(\*) "Engineering Monographs — United States Department of the Interior — Bureau of Reclamation — Hydraulics Design of Stilling Basins and Bucket Energy Dissipators" — Publicação N.º 25 Denver — Colorado — Setembro de 1958.

No entanto, aplicando sob as mais variadas formas o sistema planejado, tivemos a decepção de constatar que não proporcionava a eficiência esperada, exigindo a adoção de dimensões cada vez maiores, que iriam cair nos sérios inconvenientes que apontamos, tornando-se o conjunto relativamente grande e conseqüentemente oneroso. Assim, como de praxe na experimentação, procuramos apelar para o espírito inventivo, tentando obter um dispositivo novo, que dentro das restrições impostas, pudesse nos conduzir aos resultados desejados.

Na prancheta, de posse do lápis e do papel, começamos a esboçar dispositivos que, sem fugir aos moldes clássicos que regem o assunto, pudessem nos tirar das dificuldades em que nos encontrávamos. Foi assim que surgiu-nos a idéia da forma empregada, que transportamos para o modelo, a fim de verificar a eficiência, dentro do que desejávamos obter.

A luz de bom senso, assaltou-nos logo o receio de que a forma interna, em semi-círculo, pudesse nos acarretar dificuldades, retendo o material de arrastamento, areia, no caso. Inspirados no entanto no sábio conceito do grande gênio de Leonardo Da Vinci "Se tens que lidar com água, consulta primeiro a experiência e depois a razão", resolvemos experimentar, e, com grande surpresa nossa, verificamos que se passava juntamente o contrário isto é, o escoamento estabelecido no interior da parte côncava apresentava uma turbulência que, além de contribuir eficazmente para a dissipação de energia, revolvía o material carregado, fazendo com que este fosse levado pela corrente. Obtivemos, assim, a solução nos moldes desejados.

## V — OS CRITÉRIOS PARA PROJETO

Sendo, como de praxe, o estudo comandado pelo número de Froude, seguimos o mesmo critério adotado pelo "Bureau of Reclamation", relacionando os elementos com o referido número e com profundidades características. Os ensaios realizados indicaram os valores mostrados na fotografia 5, que poderão servir de inspiração para qualquer dimensionamento.

Quanto a disposição dos elementos, a sua posição em relação ao escoamento, achamos mais prudente não fixar regras rígidas, dando liberdade ao experimentador, em virtude das inúmeras e imprevisíveis situações que poderão ocorrer na prática. Evidentemente a disposição por nós adotada serve de orientação para um outro problema qualquer.

No nosso caso, agimos por tentativas, executando as peças em madeira e buscando, pelo escoamento no modelo, a situação de maior eficiência, mediante diversos arranjos dos dispositivos. Aproveitamos a oportunidade para chamar a atenção dos interessados para a complementação que realizamos para o sistema, com a disposição de uma faixa de enrocamento a jusante, prolongada em triângulos para os lados, conforme indicam os desenhos e se vê claramente nas fotografias, mantida por uma parede de conteção, que se harmonizou perfeitamente com o conjunto, acusando excelentes resultados nos estudos realizados com leito móvel, cuja estabilidade conseguimos manter em ótimas condições.

Outro aspecto interessante a observar no projeto é o que diz respeito à uniformidade que foi obtida, de distribuição da lâmina líquida em relação à largura do canal a jusante, conforme se pode constatar nas fotografias 3 e 4. Deu-se um perfeito equilíbrio de vazões ao longo das larguras, de modo tal que a dissipação passou a se fazer de maneira perfeitamente uniforme, em toda a área da bacia.

Para que se tenha uma idéia das dimensões com que trabalhamos e para que aqueles que desejarem adotar o sistema possam ter, pelo menos, uma base de partida para qualquer pré-dimensionamento, estamos anexando um quadro de valores medidos no modelo, na situação indicada pelas setas, na figura 5.

O gráfico anexo foi traçado em função dos valores do referido quadro e a Fotografia 5 mostra, em conjunto e em destaque, os elementos constituintes do sistema, com as respectivas dimensões empregadas.

As profundidades constantes do quadro foram medidas imediatamente a montante e a jusante do comprimento da bacia, conforme indicamos na fotografia 5.

Pelo que se verifica no quadro de valores, os números de Froude no nosso caso foram relativamente baixos. Todavia, pelas conclusões a que chegamos, achamos que o dispositivo poderá ser aplicado até em casos em que o referido número atinja a ordem de 4 ou 5.

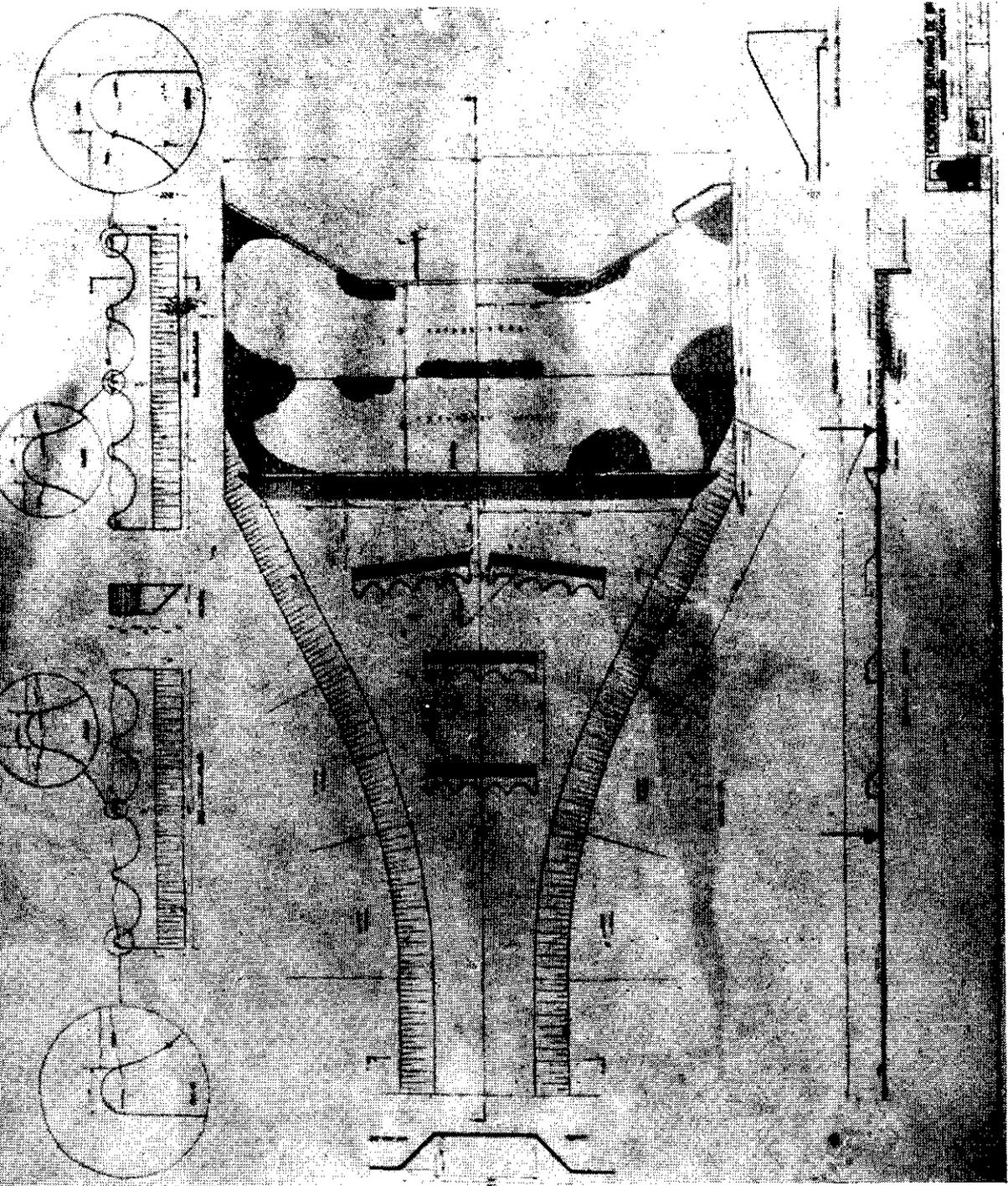
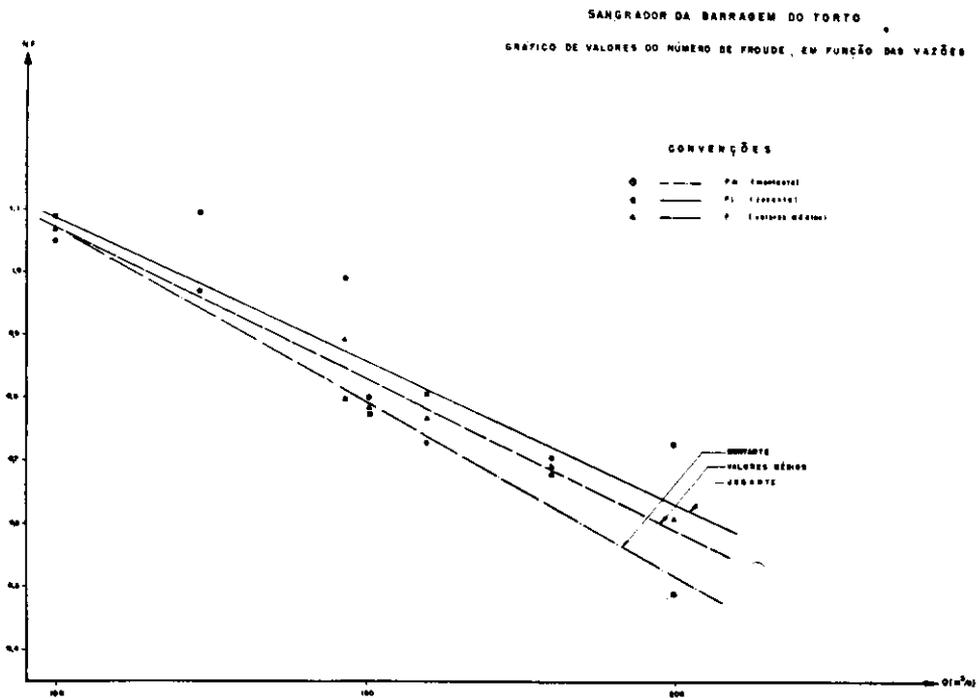


Fig. 5  
O projeto geral da bacia de dissipação, notando-se a interessante disposição adotada, com a simetria do dispositivo e a forma inteiramente original dos elementos de dissipação.



Como critério inicial para o dimensionamento de cada elemento, sugerimos que a altura seja fixada entre 1/2 a 1/3 da profundidade a montante. As demais dimensões serão tiradas por proporção, em relação ao valor acima.

Quanto ao número de elementos a construir, cuja disposição deverá, em princípio, como dissemos, ser estudada em modelo reduzido, sugerimos ser êle determinado em função de valores prováveis dos números de Froude previsto para o escoamento, considerada a seção do conduto imediatamente antes da bacia, adotando-se um total de  $N = 20F$ , divididos em  $\frac{N}{4}$  grupos, convenientemente dispostos.

Uma consulta criteriosa aos dados que estamos fornecendo, aliada a uma boa dose do bom senso, que deve sempre reger os projetos em hidráulica, complementada, se possível, por uma parte experimental nos casos mais complexos, conduzirá, estamos certos, aos resultados surpreendentes que realmente obtivemos, com o emprêgo dos novos tipos de dissipadores por nós idealizados.

## VI — CONCLUSÕES FINAIS

Esperamos, com a descrição feita, haver prestado modesta porém efetiva colaboração àqueles que, na prática de hidráulica, se encontrarem em condições análogas às nossas, com as mesmas dificuldades que enfrentamos.

Podemos afirmar, no entanto, com segurança, que o tipo da pequena bacia de dissipação por nós idealizada e comprovado experimentalmente, poderá vir a prestar valioso auxílio em casos similares, onde as dificuldades características que de início apontamos, serão certamente superadas.

Face a excelência dos resultados obtidos, pretendemos prosseguir no estudo do tipo de dissipadores apresentado, aplicando-os em casos variados e tentando obter dados de projeto mais precisos.

Identicamente ao que estamos fazendo agora, é nosso intuito voltar a divulgar os resultados desses estudos mais detalhados.

QUADRO DE VALORES MEDIDOS NO MODELO

N.º da Medição	$V_m$ (m/s)	$V_j$ (m/s)	$h_m$ (m)	$h_j$ (m)	Q (m³/s)	$F_m = \frac{V_m}{\sqrt{gh_m}}$	$F_j = \frac{V_j}{\sqrt{gh_j}}$	$F = \frac{F_m + F_j}{2}$
1	4,38	2,36	1,78	0,48	99,72	1,048	1,088	1,068
2	4,42	2,54	2,12	0,55	123,00	0,971	1,095	1,033
3	4,74	2,19	2,32	0,76	146,40	0,994	0,802	0,898
4	4,12	2,16	2,67	0,79	150,30	0,805	0,777	0,791
5	3,93	2,27	2,92	0,80	159,80	0,735	0,811	0,773
6	3,88	2,11	3,05	0,97	180,00	0,711	0,685	0,698
7	2,83	2,29	3,32	0,99	199,80	0,496	0,734	0,615

Nota — Os índices *m* e *j* indicam, respectivamente, montante e jusante. Ver a Fig. 5.