

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

**MODELOS REDUZIDOS EM OBRAS HIDRÁULICAS -
BARRAGEM DA PEDRA**

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

DEZEMBRO/1994

Carlos Galvão

CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO
Supervisor de Estágio

Ricardo Correia Lima

RICARDO CORREIA LIMA
Coordenador de Estágio

Marisa Chagas de Carvalho

MARISA CHAGAS DE CARVALHO
Estagiária



Biblioteca Setorial do CDSA. Outubro de 2021.

Sumé - PB

Í N D I C E

		Páginas
APRESENTAÇÃO.....		i
1	- INTRODUÇÃO.....	1
2	- TEORIA DOS MODELOS.....	3
2.1	- Lei de Froude.....	6
2.2	- Lei de Reynolds.....	8
3	- PROCEDIMENTOS DE INVESTIGAÇÃO.....	11
3.1	- Trabalhos Preparatórios.....	11
3.2	- Principais Tipos de Modelos Hidráulicos e sua Localização no Laboratório.....	12
4	- INSTALAÇÃO DO LABORATÓRIO E INSTRUMENTA- ÇÃO.....	14
4.1	- Instalação do Laboratório.....	14
4.2	- Instrumentação.....	14
5	- OS MODELOS DE BARRAGEM DA PEDRA.....	15
6	- O MODELO BIDIMENSIONAL.....	18
6.1	- Ensaio no Modelo.....	18
6.2	- Resultados.....	19
7	- O MODELO TRIDIMENSIONAL.....	21
7.1	- A Construção do Modelo.....	22
7.2	- A Aferição do Modelo.....	24
7.3	- Organização e Procedimentos dos Ensaio.	25

		Páginas
7.4	- Resultados.....	26
8	- NOVOS ENSAIOS REALIZADOS NESTE ESTÁGIO..	28
8.1	- Ensaio de Operação.....	28
8.1.1	- Análise dos Resultados.....	30
8.2	- Ensaio do Padrão de Erosão.....	31
8.2.1	- Análise dos Resultados.....	33
9	- CONCLUSÃO.....	34
10	- BIBLIOGRAFIA.....	35
A N E X O S.....		36

APRESENTAÇÃO

Este relatório refere-se ao estágio supervisionado realizado por MARISA CHAGAS DE CARVALHO, matriculada no Curso de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal da Paraíba, Campus II, matrícula n° 902.1180-3, realizado nos Laboratórios de Hidráulica e de Modelos Reduzidos da Área de Engenharia de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia civil, sob regime semanal de 20 (vinte) horas, tendo como supervisor o Professor CARLOS DE OLIVEIRA GALVÃO, sendo coordenador de estágio do Departamento o Professor RICARDO CORREIA LIMA. Como parte do estágio frequentou-se como ouvinte o Curso "Modelos Reduzidos em Obras Hidráulicas do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da UFPB, ministrado pelo Professor MANOEL GILBERTO DE BARROS, com 30 horas de duração (Declaração de participação no Anexo 3).

1 - INTRODUÇÃO

Para um cumprimento dos objetivos a serem alcançados no estudo de uma dada barragem, são construídos um ou mais Modelos Reduzidos.

Modelos Reduzidos são obras hidráulicas em escala inferior, que apresentam as características originais da barragem a ser estudada.

Os Modelos Reduzidos podem ser construídos antes, durante e após a construção da barragem. Os mais adequados são a construção antes e durante pois, se algum tipo de problema surgir, no modelo mesmo pode ser resolvido. O mais desfavorável é a construção após, pois, o problema decorrente da barragem pode está sendo prejudicial para o funcionamento da mesma.

As etapas a serem seguidas para um estudo de Modelos Reduzidos são: estudo teórico, construção e instrumentação do modelo, realização e interpretação dos ensaios, identificação de problemas e proposição de solução.

O objetivo do estágio foi um estudo teórico e prático sobre Modelos Reduzidos de Barragens.

Neste relatório na seção 2 mostra-se os princípios teóricos das leis de semelhança hidráulico que regem os estudos em Modelos Reduzidos.

Nas seções 3 e 4 descreve-se os procedimentos de investigação, construção dos modelos, instalação e instrumentação do laboratório.

As seções 5, 6 e 7 apresentam o estudo de modelo da Barragem da Pedra, realizado em 1982 pela UFPB (ATECEL, 1982).

Por fim, na seção 8 descreve-se e analisa-se os ensaios realizados durante este estágio.

2 - TEORIA DOS MODELOS

A prática nos Laboratórios de Hidráulica, principalmente no que referir a Modelos Reduzidos é baseada na aplicação de um conjunto de relações que são conhecidas como Leis da Semelhança Hidráulica. Estas leis foram desenvolvidas através de relações básicas da mecânica dos fluidos e expressam as interrelações entre os vários parâmetros do fluxo e do fluido, tais como velocidade, viscosidade e pressão, sob condições limites semelhantes. O conhecimento da semelhança hidráulica é primordial para uma compreensiva utilização dos modelos hidráulicos.

A teoria da Semelhança Hidráulica mostra como o modelo deve ser calculado e preparado, os requisitos que deve satisfazer para representar em uma escala reduzida as condições reais do protótipo, os parâmetros que devem ser medidos aos ensaios, como os resultados destes ensaios devem ser processados e finalmente como os resultados podem ser aplicados e qual a extensão da sua validade.

Existem três leis de semelhança:

- . Semelhança Geométrica;
- . Semelhança Cinemática;
- . Semelhança Dinâmica.

A lei de Semelhança Geométrica diz que dois objetos são semelhantes geometricamente se as relações entre todas as dimensões lineares correspondentes são iguais, envolvendo portanto a semelhança da forma.

A semelhança do comprimento é dado por:

$$L_r = \frac{L_m}{L_p} \quad (1)$$

onde:

- L_r → dimensão da escala
 L_m → dimensão do modelo
 L_p → dimensão do protótipo.

A escala da área é:

$$A_r = \frac{L_m^2}{L_p^2} = L_r^2 \quad (2)$$

A escala do volume é dada por:

$$V_r = \frac{L_m^3}{L_p^3} = L_r^3 \quad (3)$$

A semelhança da forma, do comprimento e as escalas de área e volume fazem parte do estudo de Semelhança Geométrica.

Na Semelhança Geométrica a relação das componentes de velocidade para pontos homólogos em sistemas geometricamente semelhantes são iguais, ou seja, dois estados de movimento são cinematicamente semelhantes.

A Semelhança Dinâmica diz que dois sistemas geometricamente e cinematicamente semelhantes requerem que a razão entre todas as forças homólogas nos dois sistemas seja a mesma.

A 2ª lei de Newton do movimento pode ser escrita:

$$M \cdot a = \text{vetor soma } (I_p + F_g + F_v + F_t + F_c) \quad (4)$$

onde:

- M.a → relação de massa para a força atuando, considerada aqui como a força de inércia.
- F_p → força de pressão
- F_g → força imposta na massa do líquido pela gravidade, representada pelo seu peso.
- F_v → força de cisalhamento pela viscosidade
- F_t → força devida à tensão superficial
- F_c → força produzida pela compressão elástica do fluido.

Na semelhança pode ser escrita:

$$\frac{M_m \cdot a_m}{M_p \cdot a_p} = \frac{(F_p + F_g + F_v + F + F_c)_m}{(F_p + F_g + F_v + F_t + F_c)_p} \quad (5)$$

onde:

- M_m → relação de massa do modelo.
 M_p → relação de massa do protótipo.

Em resumo, na prática, um particular estado de fluxo pode ser simulado no modelo, sendo considerada apenas uma das forças do lado direito da equação (5). Em 90% dos modelos hidráulicos as forças de gravidade e viscosidade ou apenas uma delas predomina.

Nas leis da semelhança, a Lei de Froude e a Lei de Reynolds são bastante utilizadas.

2.1 - Lei de Froude

Na Lei de Froude, os efeitos da gravidade são predominantes, podendo ser feita uma relação desta força gravitacional com as forças de inércia de fluxo, sendo desprezadas as outras da equação (5).

Sendo considerado que:

$$\text{Massa} = \frac{w}{g} = \frac{\gamma L^3}{g} \quad (6)$$

$$\text{Acelerac\~{a}o} = \frac{L}{t^2} \quad (7)$$

tem - se que:

$$M. a = \frac{\gamma L^3 L}{gt^2} = \frac{\gamma L^4}{gt^2} \quad (8)$$

quando se substitui $\frac{\gamma}{g}$ por ρ e $\frac{L}{t}$ por v , obte'm - se:

$$M. a = \rho L^2 v^2 \quad (9)$$

$$\text{Dimensionalmente, } F_g = \gamma L^2 \quad (10)$$

Logo:

$$M. a = F_g \quad \text{ou} \quad \rho L^2 v^2 = \gamma L^2 \quad (11)$$

Mas, $\gamma = \rho. g$, assim tem - se uma nova simplificac\~{a}o:

$$\rho L^2 v^2 = \rho. g. L^2$$

$$\rightarrow \frac{v^2}{g L} = 1 \quad (12) \text{ que e' a forma final da Lei de Froude.}$$

2.2 - Lei de Reynolds

Na Lei de Reynolds, predomina os efeitos das forças de inércia, sendo desprezadas como na Lei de Froude as outras da equação (5).

Assim:

$$M \cdot a = F \cdot V \quad (13)$$

$$M a_J FV = \mu \cdot L \cdot V \quad (14)$$

Substituindo (13) em (14) e como $M \cdot a = \rho \cdot L^2 v^2$:

$$\rho \cdot L^2 v^2 = \mu \cdot L \cdot V \rightarrow \rho \cdot L = \mu \quad (15)$$

Expressando em termos de relação modelo - proto'tipo:

$$\rho_r L_r V_r = \mu_r \rightarrow \frac{\rho_r \cdot L_r \cdot V_r}{\mu_r} = 1 \quad (16)$$

onde:

$$\frac{L_r \cdot V_r}{V_r} = 1 \quad (17) \text{ e' a equação da Lei de Reynolds.}$$

A Tabela 1 apresenta a relação de escala entre a Lei de Froude e Lei de Reynolds.

Tabela 1 - Relação escala entre a Lei de Froude e a Lei de Reynolds.

Características	Dimensão	RELAÇÃO DE ESCALA	
		Froude	Reynolds
PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS			
Comprimento	L	L_r	L_r
Área	L^2	L_r^2	L_r^2
Volume	L^3	L_r^3	L_r^3
PROPRIEDADES CINEMÁTICAS			
Tempo	t	$\left(\frac{L_p}{\gamma}\right)^{1/2}$	$\left(\frac{L^2}{\rho \cdot \mu}\right)_r$
Velocidade	$L \cdot t^{-1}$	$\left(L \cdot \frac{\gamma}{\rho}\right)^{1/2}_r$	$\left(\frac{\mu}{L \cdot \rho}\right)_r$
Aceleração	$L \cdot t^{-2}$	$\left(\frac{\gamma}{\rho}\right)_r$	$\left(\frac{\mu^2}{\rho^2 L^3}\right)_r$
Descarga	$L^3 t^{-1}$	$\left[L^{5/2} \cdot \left(\frac{\gamma}{\rho}\right)^{1/3}\right]_r$	$\left(L \cdot \frac{\mu}{\rho}\right)_r$
PROPRIEDADES DINÂMICAS			
Massa	μ	$\left(\frac{L^3}{\rho}\right)_r$	$(L^3 \cdot \rho)_r$
Força	$\mu \cdot L \cdot t^{-2}$	$(L^3 \cdot \rho)_r$	$\left(\frac{\mu^2}{\rho}\right)_r$
Densidade	$\mu \cdot L^{-3}$	ρ_r	ρ_r
Peso específico	$\mu \cdot L^{-2} \cdot t^{-2}$	γ_r	$\left(\frac{\mu^2}{L^3 \cdot \rho}\right)_r$

Em suma, as Leis de Semelhança, assim como as Leis de Froude e de Reynolds, são comumente utilizadas na hidráulica, como em construção de canais, e não somente em construção de Modelos Reduzidos.

3 - PROCEDIMENTOS DE INVESTIGAÇÃO

3.1 - Trabalhos Preparatórios

Estes trabalhos constituem-se em duas etapas:

- . Parte teórica
- . Parte prática.

A parte teórica é a parte inicial dos estudos, ou seja, onde a escala é inicialmente determinada, o esquema do modelo determinado pela análise das condições e critérios de semelhança, o conteúdo, extensão e procedimentos das pesquisas feitas são preparados.

A parte prática consiste na seleção do material para o modelo, a sua localização, a locação, a realização do projeto, construção e o acompanhamento do modelo ao circuito hidráulico do projeto.

Antes de ter-se iniciado os trabalhos preparatórios, o cliente apresenta seus problemas e o engenheiro responsável (chefe da equipe do modelo) discute com o mesmo as possíveis soluções. É nesta etapa onde todo o material informativo é requisitado, decide-se sobre os tipos e quantidades de modelos, e finalmente a decisão final sobre a escala e os tipos de materiais a serem empregados na construção como, por exemplo, madeira, cimento, ferro, areia, acrílico, cobre, PVC, zinco e materiais vedantes.

3.2 - Principais Tipos de Modelos Hidráulicos e sua Localização no Laboratório.

. Modelos de rios e de engenharia de Costa: são modelos tridimensionais com ou sem estrutura hidráulica; podem ser de leito fixo ou móvel.

Os modelos de leito fixo são para o estudo de problemas que não envolvam erosão ou transporte de sedimentos. Os de leito móvel são para o estudo de erosão, transporte e deposição de sedimentos.

. Modelos de estruturas hidráulicas, são os bidimensionais - onde ocorre estudo sobre problemas de fluxo em vertedores, válvulas, etc.

Tridimensionais → pesante e lei de manobra de comportas.

À medida que se escolhe o tipo de modelo e o projeto do mesmo, o problema de localização no laboratório deve ser resolvido, sendo levadas em conta algumas considerações.

. Quase sempre o espaço no laboratório é limitado, influenciando na escolha de escala;

. As escalas são limitadas por três variáveis (espaço, vazão e o custo);

. A localização do modelo deve permitir uma construção e operação econômicas, assim como a instalação de acessórios e equipamentos de medição;

. A sua localização deve ser compatível com o sistema de recirculação de água no laboratório.

Escolhido o tipo de modelo, algumas condições limites influenciam na sua construção como:

. Como o fluxo no protótipo é turbulento, o modelo não poderá ser muito pequeno, para não permitir a mudança para o fluxo laminar.

. A conservação dos fluxos subcrítico ou supercrítico do protótipo para o modelo;

. E outras condições limites inerentes a cada caso.

4 - INSTALAÇÃO DO LABORATÓRIO E INSTRUMENTAÇÃO

4.1 - Instalação do Laboratório

O laboratório tem que apresentar espaço suficiente para se poder trabalhar.

O laboratório é composto de um sistema de abastecimento d'água, podendo ser de circulação e recirculação, com reservatório inferior, reservatório superior, caso de bombas, sistema de bombeamento, sistema de alimentador dos modelos e sistema de retorno.

4.2 - Instrumentação

A instrumentação é composta de cuba com vertedor na entrada dos modelos, pontas dimimétricas, micromolinetes, sondas e também de equipamentos fatográficos.

5 - OS MODELOS DA BARRAGEM DA PEDRA

A Barragem da Pedra, situa-se a aproximadamente 18 km a montante da cidade de Jequié no Estado da Bahia. Ela apresenta como funções principais a regularização de vazão da Usina de Funil, situada 90 km a jusante, e também geração de energia.

Abrange uma superfície de drenagem da baía do Rio de Contas na ordem de 37.000 km². A Barragem da Pedra tem uma capacidade de acumulação de 1,7 bilhões de m³, com o nível d'água na cota 228 m, correspondendo a uma extensão de 72 km e uma área inundada de 10⁷ m² (ATECEL, 1982).

O estudo realizado na Barragem da Pedra fora necessária, pois ocorria um problema de erosão muito grande próximo a um dos lados do muro guia.

O Modelo Reduzido da Barragem da Pedra foi realizado através do contrato entre a Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior - ATECEL e a Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF e está descrito em detalhes pela ATECEL (1982).

Foram construídos um Modelo Bidimensional e outro Tridimensional.

No Modelo Bidimensional foram determinadas as curvas de cota/abertura/vazão, estudo do comportamento da lâmina d'água, aspectos de pressões negativas e descolamentos, assim como as condições de fluxo a montante e a jusante.

A seguir nas seções 6 e 7, são apresentados sucintamente os resultados deste estudo extraídos do seu relatório final (ATECEL, 1982):

- Determinação das curvas de cota/abertura/vazão para os descarregadores de superfície;
- Comportamento da lâmina d'água nos vertedores sob o ponto de vista de:
 - . pressões negativas;
 - . descolamentos;
 - . situação na bacia de dissipação e localização do ressalto hidráulico.

No estudo da semelhança o parâmetro primordial foi a gravidade, pois era um efeito que predominava no fluxo. A partir da Lei de Froude foram encontradas relações entre o protótipo e o modelo:

- . Velocidade: $V_p = 7.092 V_m$
- . Tempo : $T_p = 7.092 T_m$
- . Pressões : $P_p = 50.000 P_m$
- . Vazões : $q_p = 17.647,670 q_m$

Os índices "p" e "m" indicam respectivamente protótipo e modelo.

Foram reproduzidos no modelo bidimensional um vão e duas metades dos descarregadores de superfície, no qual a vazão máxima de 161,62 t/s corresponde à cheia máxima excepcional (10.000 m³/s) no protótipo (ATECEL, 1982).

Através de um vertedor retangular sem contração, calibrado e instalado numa cuba vertedora colocada no início da bacia de tranquilização, foi medida a vazão escoada pelo modelo.

6 - MODELO BIDIMENSIONAL DA BARRAGEM DE PEDRA

O modelo bidimensional fora construído para uma melhor avaliação de alguns parâmetros que necessitavam de uma melhor precisão ao serem determinados.

A escala escolhida para este modelo foi a de 1:50. O canal apresenta 12 m de comprimento, 0,68 m de largura e 1,90 m de altura.

Dois aspectos principais foram estudados neste modelo bidimensional:

6.1 - Ensaios no Modelo

Os ensaios neste modelo foram divididos em 3 séries (ATECEL, 1982):

1ª série: vazões de 0 a 5000 m³/s com comportas totalmente abertas;

2ª série: vazões de 5000 a 10000 m³/s com comportas totalmente abertas;

3ª série: vazões de 0 a 5000 m³/s com comportas parcialmente abertas.

O intervalo de reprodução das vazões no modelo nestas 3 séries de ensaios situou-se em torno de 200 m³/s para vazões baixas e 500 m³/s para valores mais altos, até a vazão de projeto (5000 m³/s). Entre 5000 m³/s e 10000 m³/s,

estes intervalos foram maiores visando verificar apenas a cota máxima de projeto e a vazão correspondente.

As 1ª e 2ª séries dos ensaios tiveram início com a leitura na carga do vertedor de medida a montante do modelo, assim como era feito o levantamento da linha d'água e medidas as pressões em pontos do perfil vertente e na face interna dos pilares. Por fim, eram observadas e anotadas as condições de fluxo a jusante.

Na 3ª série, nos ensaios foram feitas as leituras das cargas do vertedor de medida e a montante do modelo, assim como medidas as pressões correspondentes nos pontos no perfil vertente e nos pilares. O levantamento dos perfis da superfície da água não foi realizado por causa da influência das comportas abertas parcialmente. As condições de fluxo de aproximação foram observadas, sendo anotados os aspectos de formação e deslocamento de vórtice.

6.2 - Resultados

A Tabela 2 fornece as vazões em um vão para várias cotas e aberturas acima da cota 218,526 (nível inferior da borda da comporta quando fechada e apoiada na calha). Com esta tabela há facilidade de determinação da vazão total no vertedor quando as aberturas das comportas não são iguais em todos os vãos. Assim, a vazão total será

calculada através do somatório do fluxo nos vãos individuais, para cotas e aberturas escolhidas.

Também poderia ser possível determinar várias combinações de aberturas que permitam escoar uma vazão pré-estabelecida, para qualquer cota do nível d'água no reservatório, entre as cotas 222,50 e 230 m (ATECEL, 1982).

Tabela 2 - Vazão em um vão (m^3/s) para abertura de comportas de 0,5 a 5,0 m.

Cota do Nível d'água (m)	ABERTURAS DE COMPORTAS (m) - ACIMA DA COTA 218,526 m									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
222,50	31,4	71,4	85,7							
223,00	32,9	75,7	92,9	111,4						
223,50	34,3	81,4	100,0	121,4	132,9	142,9				
224,00	35,7	87,1	105,7	128,6	144,3	157,1				
224,50	37,1	92,9	111,4	137,1	154,3	170,0	210,0	242,9		
225,00	40,0	97,1	117,1	144,3	164,3	182,9	224,3	260,0		
225,50	41,4	102,9	122,9	151,4	172,9	195,7	237,1	275,7		
226,00	42,9	107,1	128,6	158,6	182,9	208,6	251,4	290,0	322,9	351,4
226,50	44,3	111,4	134,3	165,7	192,9	220,0	262,9	304,3	337,1	368,6
227,00	45,7	114,3	140,0	171,4	201,4	231,4	274,3	317,1	351,4	384,3
227,50	48,6	118,6	145,7	177,1	210,0	242,9	285,7	328,6	365,7	400,0
228,00	50,0	122,9	151,4	182,9	217,1	251,4	295,7	341,4	378,6	414,3
228,50	51,4	125,7	155,7	188,6	225,7	260,0	305,7	352,9	391,4	428,6
229,00	52,9	128,6	161,4	192,9	232,9	270,0	317,1	364,3	404,3	441,4
229,50	55,7	131,4	165,7	197,1	240,0	278,6	327,1	375,7	415,7	454,3
230,00	57,1	134,3	171,4	200,0	245,7	285,7	338,6	387,1	428,6	467,1

7 - O MODELO TRIDIMENSIONAL DA BARRAGEM DE PEDRA

Foi construído um modelo tridimensional, na escala 1:100, onde foram feitos ensaios dos seguintes aspectos:

- . Lei de manobra das comportas dos descarregamentos da superfície.

- . Condições de fluxo a jusante dos vertedores e padrão de erosão.

A semelhança de Froude foi utilizada para a transformação das grandezas entre o protótipo e o modelo, pois fora prevista a ocorrência de um escoamento com superfície livre. Logo, as seguintes relações foram expressas:

- . Velocidade: $V_p = 10,00 V_m$

- . Tempo : $T_p = 10,00 T_m$

- . Vazões : $Q_p = 100.000 Q_m$

Os índices "p" e "m" referem-se ao protótipo e ao modelo, respectivamente.

Foi utilizado para adição de água ao modelo, um sistema de recirculação de água do Laboratório de Modelos Reduzidos capaz de proporcionar uma vazão máxima de 170 l/s o que atendia a vazão de 72,4 l/s, correspondente a 7240 m³/s

que é a cheia máxima excepcional com o efeito de amortecimento pelo reservatório.

Este sistema de recirculação é composto de um conjunto de 2 bombas centrífugas conectado a um reservatório inferior com 120 m³ de volume total e outro superior, de nível constante, com 40 m³ de volume útil (ATECEL, 1982).

A vazão que era escoada em cada ensaio era medida utilizando-se um vertedor retangular sem contração, calibrado e instalado em uma cuba vertedora, que descarregava na bacia de tranquilização.

7.1 - A Construção do Modelo

Na construção do modelo tridimensional, foram reproduzidos 2 sem do Rio de Contas e a Barragem da Pedra.

Para a locação do eixo da barragem e do contorno do modelo utilizou-se um teodolito. Para a implantação dos perfis e dos elementos pré-moldados ou não, da Barragem, utilizou-se um nível topográfico.

Para que se evitasse as possíveis fugas d'água, toda a área do Laboratório recebeu uma laje de concreto simples de 7 cm de espessura, tendo logo acima uma outra de concreto armado nas duas direções, com 10 cm de espessura.

As paredes de contorno do modelo, assim como a bacia de tranquilização, foram construídas de tijolo maciço e revestidas com argamassa de cimento e areia.

Para a construção de barragem no modelo foi preparada uma forma em madeirit.

Os pilares foram pré-moldados em formas de madeira e construídas em concreto. As comportas de setor foram feitas com chapas de cobre a partir de gavanitos em madeira (ATECEL, 1982).

Os dentes da bacia de dissipação foram construídos utilizando-se madeira mole.

As tomadas d'água foram feitas utilizando-se chapas de PVC e madeira mole. A saída das tomadas foi feita em tubos de PVC com registros para o controle de vazão.

A barragem e todos os seus elementos reproduzidos tiveram acabamento com massa iberê e depois foram pintados.

A reprodução do modelo, da topografia de montante e jusante foi feita através da implantação de perfis transversais.

Na construção do modelo nos levantamentos topográficos a jusante foram feitos, devido a uma cheia de porte médio que ocorreu no protótipo, havendo um atraso substancial no trabalho.

Os perfis de montante foram locados correspondendo no protótipo a uma distância aproximada de

50 m entre eles, e os de jusantenas proximidades da bacia de dissipação ficando uns próximos dos outros.

Na seção final do modelo instalou-se uma comporta basculante para controlar os níveis d'água de jusante.

Para serem feitas as leituras das cotas dos níveis d'água foram instaladas uma ponta significativa a montante e duas outras no trecho à jusante. A outra ponta linimétrica foi instalada a 400 m do eixo da barragem, apenas para controle dos ensaios.

7.2 - A Aferição do Modelo

A vazão através da turbina variava pouco, com valores entre $40 \text{ m}^3/\text{s}$ e $60 \text{ m}^3/\text{s}$, correspondendo a $0,4 \text{ l/s}$ e $0,5 \text{ l/s}$ no modelo. Como o efeito desta variação era insignificante sobre a natureza do fluxo a jusante, com as comportas abertas, a vazão da turbina foi mantida em todos os ensaios em torno de $50 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,5 \text{ l/s}$ no modelo).

Com os dados referentes à abertura das comportas e à cota do nível d'água a montante a vazão foi calculada, a partir dos resultados do modelo bidimensional.

Para o trecho a jusante, utilizou-se cotas do nível d'água com os dados da régua instalada no muro guia direito.

7.3 - Organização e Procedimentos dos Ensaios

Para alcançar os objetivos de operação do modelo, 3 séries de ensaios foram organizadas e assim distribuídas (ATECEL, 1982):

1ª série: vazões de 1000 m³/s a 6000 m³/s com comportas totalmente abertas.

2ª série: vazões de 400 m³/s a 6000 m³/s com comportas parcialmente abertas.

3ª série: vazões de 1000 m³/s a 4000 m³/s com comportas totalmente abertas e vazões de 400 m³/s a 6000 m³/s com comportas parcialmente abertas, para o estudo do padrão de erosão.

Na 1ª série de ensaios com comportas totalmente abertas, a finalidade era a observação das condições de aproximação com a verificação da cota, condições do escoamento a jusante da bacia e a dissipação da energia.

A carga no vertedor de medida era estabelecida a partir da curva de calibração e pelas manobras do registro. Após a estabilização do fluxo o ensaio tinha o seu início, sendo este controle feito através da repetição das leituras da carga no vertedor de medida e as cotas linimétricas a montante e a jusante.

Na 2ª série de ensaios com comportas parcialmente abertas, o objetivo fora a verificação do efeito de várias combinações de aberturas das comportas para cada

vazão. Nesta série, o ensaio iniciava-se com a colocação das aberturas pré-estabelecidas, apresentando os mesmos procedimentos da série anterior.

Nos ensaios de 3ª série foi feito o estudo do padrão de erosão a jusante da bacia de dissipação com comportas totalmente ou parcialmente abertas.

O procedimento neste ensaio foi diferente dos anteriores no levantamento do leito erodível, logo após o término do ensaio. quando cessava o escoamento, a água acumulada nas depressões era retirada de 1,00 cm em 1,00 cm com o auxílio de uma mangueira ou uma seringa hipodérmica, marcando-se os níveis d'água com um cordão.

7.4 - Resultados

Para a 1ª série de ensaios observou-se que a montante não houve ocorrência de correntes laterais próximas à embocadura do vertedor, com o fluxo de aproximação muito tranquilo. À jusante com vazões de 1000 m³/s e 2000 m³/s ocorreu ressalto na bacia de dissipação, para 2000 m³/s um jato começou a se formar fora a margem esquerda. Quando do escoamento de 3000 m³/s aumentou o jato do vão e, trazendo conseqüências danosas para a margem esquerda. A partir de 4000 m³/s a dissipação de energia no pé da barragem com a formação do "roller" era pequena. Nos vãos centrais o ressalto hidráulico foi bem caracterizado (ATECEL, 1982).

Para a 2ª série foram realizados ensaios para vazões de 400, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000 e 6000 m³/s. Sendo limitadas pelas condições de transbordamento ou deslocamentos da lâmina d'água, as possibilidades alternativas foram verificadas em termos de condições de aproximação à montante, da estabilidade do fluxo e das condições gerais à jusante (ATECEL, 1982).

Para a 3ª série que foi os ensaios para o estudo do padrão de erosão, foi observado que nos ensaios de fluxo livre para todas as vazões a região crítica se localiza na parte esquerda do vertedor, em frente ao vão 7, com menor erosão nos vãos 3 e 4, com padrão semelhante nos vãos 1, 2, 5 e 6. Para as comportas parcialmente abertas com aberturas alternadas a erosão concentrou-se aos vãos abertos, para aberturas iguais em todos os vãos o problema crítico foi na margem esquerda, e por fim, em aberturas maiores na parte central, houve grande erosão na parte central altenuando nas laterais.

8 - NOVOS ENSAIOS REALIZADOS (EM 1994), NESTE ESTÁGIO

Neste estágio, realizou-se prática de ensaios no modelo tridimensional da Barragem da Pedra.

Foram realizados sete ensaios, sendo cinco ensaios de operação e dois de padrão de erosão.

8.1 - Ensaios de Operação

Os ensaios de operação foram conduzidos no período de 26/10/1994 a 27/10/1994, com um total de cinco ensaios.

A 1ª série de ensaios foi realizada com comportas totalmente abertas com vazões de 1820 m³/s e 3400 m³/s.

A 2ª série de ensaios foi realizada com comportas parcialmente abertas e vazões de 3640 m³/s, 2470 m³/s e 1040 m³/s.

Em todos os ensaios uma planilha foi preenchida, onde eram observadas as condições de fluxo a montante e a jusante (Anexo 1).

Os objetivos dos ensaios foram:

- Verificação das condições do fluxo de aproximação nas comportas, com a verificação da cota do nível d'água a montante.

- Verificação das condições de escoamento do fluxo a jusante.

Os seguintes procedimentos foram adotados nos ensaios:

1. Em primeiro lugar era estabelecida uma vazão e fixada a abertura das comportas. As comportas eram fechadas nas laterais com massa de modelar.

2. A planilha era preenchida com os dados pré-estabelecidos: n° de ensaios, data, hora que teve início o ensaio, e o zero da ponta linimétrica, entre outros (consultar planilha no Anexo 1).

3. A carga no vertedor de medida era estabelecida a partir da curva de calibragem e pelas manobras do registro. Após a estabilização do fluxo o ensaio tinha o seu início, sendo este controle feito através da repetição das leituras da carga no vertedor de medida e as cotas linimétricas a montante e a jusante.

4. Observação e anotação das características do fluxo de aproximação.

5. Anotação do horário do término do ensaio.

8.1.1 - Análise dos resultados

- Comportas totalmente abertas:

A montante não ocorreram correntes laterais próximas à embocadura do vertedor, sendo o fluxo de aproximação muito tranquilo. Para a vazão de 1820 m³/s a 2000 m³/s, o fluxo teve a velocidade diminuindo gradativamente da direita para a esquerda (Foto 1).

Quando a vazão aumentou para 3400 m³/s, verificou-se uma velocidade maior próxima aos vãos centrais; à esquerda a velocidade do fluxo de aproximação foi muito pequena.

A jusante, as condições de fluxo foram as mesmas. com o aumento da vazão e conseqüentemente da velocidade observou-se que na bacia de dissipação, próximo ao vão, ocorreu uma grande turbulência, onde um jato se formava na direção esquerda do muro guia, acarretando conseqüências danosas para a margem esquerda, como uma erosão bem acentuada. Foi observado também uma ocorrência de ressalto hidráulico nos vãos centrais.

- Comportas Parcialmente abertas:

Com a vazão de 3640 m³/s a 3900 m³/s, que caracterizaram o ensaio n° 3, foi observado que o fluxo de aproximação teve velocidade aumentando da direita para esquerda. Ocoreram vórtices com várias intensidades próximos

às comportas. A jusante, uma maior turbulência foi vista na bacia de dissipação próximo ao vão 7, escolamento da lâmina d'água nos vãos 4 e 7, ressalto hidráulico também na bacia de dissipação, e formação de ondas nas margens esquerda e direita (Foto 2).

Para a vazão de 2420 m³/s, no ensaio n° 4, não houve presença de vórtices. Quanto ao fluxo de aproximação e o de jusante as observações são as mesmas citadas no ensaio n° 3.

Para o ensaio n° 5, com vazão de 1000 m³/s a 1040 a 1040 m³/s, verificou-se turbulência na bacia de dissipação, com formação de ondas na margem direita. Na margem esquerda, estes problemas não ocorreram. (Fotos 3, 4).

8.2 - Ensaios do Padrão de Erosão

Os ensaios do Padrão de Erosão foram realizados no período de 03/11/94 a 04/11/94, perfazendo um total de dois ensaios.

O primeiro ensaio foi realizado com as comportas parcialmente abertas com aberturas iguais de 2 cm, com uma vazão de 1020 m³/s. O tempo de escoamento foi de 1 hora, o que significava dez horas no protótipo.

O segundo ensaio foi realizado com as comportas parcialmente abertas, com uma vazão de 3010 m³/s, o

tempo de escoamento foi de uma hora e quinze minutos correspondente a quinze horas do protótipo.

Nestes dois últimos ensaios foi também preenchida uma planilha, onde era também observadas as condições de fluxo a jusante e a montante (Anexo 2).

O objetivo dos ensaios foi:

- Demonstrar aspectos da erosão à jusante da Barragem da Pedra.

Os seguintes procedimentos foram adotados nos ensaios:

1. Em primeiro lugar foi estabelecida uma vazão e qual o tipo de abertura de comporta;
2. A planilha era preenchida com os dados pré-estabelecidos seguindo a mesma seqüência dos ensaios de operação;
3. A carga no vertedor era fixada, seguindo o mesmo procedimento do item três do ensaio de operação;
4. As características das condições de fluxo à jusante e montante, eram observadas e anotadas;
5. Era observado como se apresentava a erosão durante o tempo de escoamento;
6. Ao término do tempo de escoamento o registro era fechado
7. Com o auxílio de um sifão ou uma seginga hipodérmica, era retirada a água de 1 em 1 cm, marcando os

níveis d'água com um barbante, para ser feito o levantamento do padrão de erosão.

8. Anotação do horário do término do ensaio.

8.2.1 - Análise dos resultados

- Comportas parcialmente abertas de 2 cm:

Este tipo de abertura foi realizado para o ensaio n° 6.

Pode ser observado que no vão 7 na margem esquerda a erosão foi mais proeminente, provocando uma depressão maior do que a gerada na região central da bacia de dissipação. Pequenas depressões ocorreram nos vãos 1 e 2.

- Comportas parcialmente abertas com aberturas maiores no centro:

Foi caracterizado pelo ensaio n° 7.

Neste ensaio a erosão foi mais acentuada em frente aos vãos centrais, ocorrendo acúmulo de sedimentos junto ao muro guia.

Esta combinação de abertura foi a mais conveniente, pois as margens esquerda e direita foram protegidas do efeito da erosão. Com a colocação de cotas relativas em cada curva de nível estava identificado o padrão de erosão para a vazão escoada sendo documentada através de fotografias (Fotos 6, 7, 8, 9 e 10).

9 - CONCLUSÃO

Neste trabalho estudou-se Modelos Reduzidos a partir do caso da Barragem da Pedra (ATECEL, 1982).

Os ensaios feitos no Modelo da Barragem da Pedra mostram que o maior problema esteve relacionado a um trecho a jusante, na margem esquerda.

Nos ensaios de comportas pôde ser observado que para vazões superiores a $5000 \text{ m}^3/\text{s}$ não devem ser adotadas aberturas de comportas maiores nos vãos centrais e menores nos vãos extremos, pois provocam vórtices e descolamento de lâmina.

O caso onde algumas comportas eram abertas e outras fechadas não foi aceito pois acarretava problemas na margem direita.

No estudo do padrão de erosão a combinação mais satisfatória foi quando as comportas eram parcialmente abertas simetricamente, ocorrendo aberturas maiores nos vãos centrais e menores nos vãos extremos.

10 - BIBLIOGRAFIA

ATECEL, (1982) - Estudo em Modelo Reduzido da Barragem da Pedra (CHESF) - Jequié-BA. Campina Grande, ATECEL.

Bureau of Reclamation (1953) - Hydraulic Laboratory Practice - Denver, Colorado.

LAGOS, I. (1975) - Hydraulic Models - Research Institute for Water Resources Development, Budapest.

NOVAC, C. (1981). Models in Hydraulic Engineering, Praga.

BARROS, M. G. (1994) - Modelos Reduzidos em Obras Hidráulicas. Campina Grande, UFPB (Notas de Aula).

ANEXOS

FOTOGRAFIAS REFERENTES AOS ENSAIOS DE OPERAÇÃO

ANEXO 1



Foto 1 - Comportas totalmente abertas - vazão de 1820 m³/s



Foto 2 - Comportas parcialmente abertas - vazão de 3640 a 3900 m³/s



Foto 3 - Comportas parcialmente abertas - vazão de
1000 a 1040 m³/s.



Foto 4 - Comportas parcialmente abertas - vazão de
 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ a $1040 \text{ m}^3/\text{s}$

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
 DISCIPLINA: MODELOS REDUZIDOS DE OBRAS HIDRÁULICAS E RIOS
 PROFESSOR: MANOEL GILBERTO DE BARROS
 ALUNO : Marisa Chagas de Carvalho
 BARRAGEM DA PEDRA - MODELO TRIDIMENSIONAL
 ENSAIO Nº 03 - DATA: 06/10/84 - INÍCIO: 14:40 h - TÉRMINO: 15:40h

- ZERO DO VERTEDOR: 140 mm
- LEITURA DA PONTA LINIMÉTRICA: 196,4 mm
- CARGA DO VERTEDOR RETANGULAR: 56,4 mm
- VAZÃO DO MODELO: 18,2 l/s - VAZÃO DO PROTÓTIPO: 1820 m³/s
- TOMADA DA TURBINA: 0,0 l/s
- TOMADA DAS DESCARGAS DE FUNDO fechado

VÃOS COMPORTAS	1	2	3	4	5	6	7
ABERTURAS (cm)	A	A	A	A	A	A	A

A = totalmente aberta

CONDIÇÕES DE FLUXO À MONTANTE:

- ZERO DA PONTA: 190 mm
- LEITURA: 228,3 mm
- COTA DE REF. 219 m
- COTA: 222,93 m

FLUXO DE APROXIMAÇÃO:

Aproximação do fluxo é directa com maior velocidade até o vão 4.
 Fluxo de aproximação muito lento à esquerda do vertedor.

CONDIÇÕES DE FLUXO À JUSANTE:

- ZERO DAS PONTAS: LOCAL 1: 80 mm LOCAL 2: 80 mm
- LEITURAS: LOCAL 1: 103,4 mm LOCAL 2: 156,7 mm
- COTA DE REF: 177,40 m
- LOCAL 1: 185,84 m
- LOCAL 2: 180,37 m

FLUXO DE JUSANTE:

na bacia de dissipação ocorre um maior fluxo de retorno provocando conseqüentemente uma erosão no lado esquerdo, próximo ao vão 4.

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
 DISCIPLINA: MODELOS REDUZIDOS DE OBRAS HIDRÁULICAS E RIOS
 PROFESSOR: MANOEL GILBERTO DE BARROS
 ALUNO : MARCELO CHAGAS DE SOUZA
 BARRAGEM DA PEDRA - MODELO TRIDIMENSIONAL
 ENSAIO Nº 00 - DATA: 06/30/94 - INÍCIO: 15:45 h - TÉRMINO: 16:25h

- ZERO DO VERTEDOR: 140 mm
- LEITURA DA PONTA LINIMÉTRICA: 295 mm
- CARGA DO VERTEDOR RETANGULAR: 85 mm
- VAZÃO DO MODELO: 340 l/s - VAZÃO DO PROTÓTIPO: 3400 m³/s
- TOMADA DA TURBINA: 0,5 l/s
- TOMADA DAS DESCARGAS DE FUNDO fechado

VÃOS COMPORTAS	1	2	3	4	5	6	7
ABERTURAS (cm)	A	A	A	A	A	A	A

A = totalmente aberta

CONDIÇÕES DE FLUXO À MONTANTE:

- ZERO DA PONTA: 190 mm
- LEITURA: 255,5 mm
- COTA DE REF. 219 m
- COTA: 225,50 m

FLUXO DE APROXIMAÇÃO:

Apresenta fluxos de aproximação nos vãos centrais, sendo fecho na comporta 7.

CONDIÇÕES DE FLUXO À JUSANTE:

- ZERO DAS PONTAS: LOCAL 1: 20 mm LOCAL 2: 80 mm
- LEITURAS: LOCAL 1: 129 mm LOCAL 2: 176,4 mm
- COTA DE REF: 177,70 m
- COTAS: LOCAL 1: 188,6 m LOCAL 2: 187,34 m

FLUXO DE JUSANTE:

Apresenta turbulência na bacia de dissipação próxima a comporta 7, com transbordamento de água sobre o muro quebra.

Fluxo de circulação na margem esquerda.

Apresenta ressalto hidráulico nas comportas 0, 4, 5 e 6.

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
 DISCIPLINA: MODELOS REDUZIDOS DE OBRAS HIDRÁULICAS E RIOS
 PROFESSOR: MANOEL GILBERTO DE BARROS

ALUNO : NOELSON SOARES DE ARAÚJO

BARRAGEM DA PEDRA - MODELO TRIDIMENSIONAL

ENSAIO Nº 03 - DATA: 27/10/1984 - INÍCIO: 14:00 h - TÉRMINO: 15:00 h

- ZERO DO VERTEDOR: 140 mm
- LEITURA DA PONTA LINIMÉTRICA: 299,2 mm
- CARGA DO VERTEDOR RETANGULAR: 89,2 mm
- VAZÃO DO MODELO: 36,4 l/s - VAZÃO DO PROTÓTIPO: 3640 m³/s
- TOMADA DA TURBINA: 0,15 l/s
- TOMADA DAS DESCARGAS DE FUNDO fechada

VÃOS COMPORTAS	1	2	3	4	5	6	7
ABERTURAS (cm)	2	4	6	4	6	4	2

CONDIÇÕES DE FLUXO À MONTANTE:

- ZERO DA PONTA: 130 mm
- LEITURA: 299,6 mm
- COTA DE REF. 219 m
- COTA: 299,66 m

FLUXO DE APROXIMAÇÃO: com maior velocidade à esquerda
 Apresentou vórtice nos vãos 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7

CONDIÇÕES DE FLUXO À JUSANTE:

- ZERO DAS PONTAS: LOCAL 1: 80 mm LOCAL 2: 80 mm
- LEITURAS: LOCAL 1: 133,4 mm LOCAL 2: 128,6 mm
- COTA DE REF: 144,40 m
- LOCAL 1: 138,82 m
- LOCAL 2: 129,56 m

FLUXO DE JUSANTE:

Fluxo de circulação na margem esquerda e direita,
 sendo que nesta última com menor intensidade.
 Turbulência nos comportas 4 e 5
 Descolamento do lámina próximos aos vãos 1 e 7

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
 DISCIPLINA: MODELOS REDUZIDOS DE OBRAS HIDRÁULICAS E RIOS
 PROFESSOR: MANOEL GILBERTO DE BARROS
 ALUNO : MARISA CARVALHO
 BARRAGEM DA PEDRA - MODELO TRIDIMENSIONAL
 ENSAIO Nº: - DATA: - INÍCIO: h - TÉRMINO: 15:45 h

- ZERO DO VERTEDOR: 140 mm
- LEITURA DA PONTA LINIMÉTRICA: 208,4 mm
- CARGA DO VERTEDOR RETANGULAR: 68,4 mm
- VAZÃO DO MODELO: 24,2 l/s - VAZÃO DO PROTÓTIPO: 2420 m³/s
- TOMADA DA TURBINA: 0,15 l/s
- TOMADA DAS DESCARGAS DE FUNDO fechada

VÃOS COMPORTAS	1	2	3	4	5	6	7
ABERTURAS (cm)	F	A	A	A	A	A	F

F = fechada

A = totalmente aberta

CONDIÇÕES DE FLUXO À MONTANTE:

- ZERO DA PONTA: 180 mm
- LEITURA: 253,6 mm
- COTA DE REF. 219 m
- COTA: 225,36 m

FLUXO DE APROXIMAÇÃO:

A partir do vão 6, ocorreu maior velocidade do fluxo da esquerda para a direita.

CONDIÇÕES DE FLUXO À JUSANTE:

- ZERO DAS PONTAS: LOCAL 1: 20 mm LOCAL 2: 80 mm
- LEITURAS: LOCAL 1: 150,8 mm LOCAL 2: 164,4 mm
- COTA DE REF: 199,90 m
- LOCAL 1: 186,78 m
- LOCAL 2: 186,14 m

FLUXO DE JUSANTE:

Na bacia de dissipação próximo das comportas 2 e 6 ocorreu turbulência.

Apresenta fluxo de circulação a esquerda

Apresenta formação de ondas na margem direita

FILME:

FOTOS:

FIM DO VÍDEO:

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
 DISCIPLINA: MODELOS REDUZIDOS DE OBRAS HIDRÁULICAS E RIOS
 PROFESSOR: MANOEL GILBERTO DE BARROS

ALUNO : MARISOL

BARRAGEM DA PEDRA - MODELO TRIDIMENSIONAL

ENSAIO Nº 5 - DATA: 22/10/84 - INÍCIO: 15:45h - TÉRMINO: 16:45h

- ZERO DO VERTEDOR: 140 mm
- LEITURA DA PONTA LINIMÉTRICA: 177 mm
- CARGA DO VERTEDOR RETANGULAR: 32 mm
- VAZÃO DO MODELO: 10,40 l/s - VAZÃO DO PROTÓTIPO: 1040 m³/s
- TOMADA DA TURBINA: 0,5 l/s
- TOMADA DAS DESCARGAS DE FUNDO fechado

VÍOS COMPORTAS	1	2	3	4	5	6	7
ABERTURAS (cm)	F	A	F	A	F	A	F

F = fechada

A = totalmente aberta

CONDIÇÕES DE FLUXO A MONTANTE:

- ZERO DA PONTA: 100 mm
- LEITURA: 232,80 mm
- COTA DE REF. 219 m
- COTA: 223,58 m

FLUXO DE APROXIMAÇÃO:

Apresenta fluxo de aproximação com maior velocidade próximo a comporta 4, no geral o fluxo é tranquilo.

CONDIÇÕES DE FLUXO A JUSANTE:

- ZERO DAS PONTAS: - LOCAL 1: 20 mm
- LOCAL 2: 80 mm
- LEITURAS: - LOCAL 1: 83 mm
- LOCAL 2: 132,4 mm
- COTA DE REF: 177,80 m
- COTAS - LOCAL 1: 184 m
- LOCAL 2: 182,94 m

FLUXO DE JUSANTE:

Apresenta fluxo de circulação na margem esquerda
 Apresenta maior turbulência a direita
 Formação de ondas próximo a margem direita

FOTOGRAFIAS REFERENTES AOS ENSAIOS DE PADRÃO DE
EROSÃO

ANEXO 2



Foto 6 - Comportas parcialmente abertas com aberturas maiores
no centro.



43

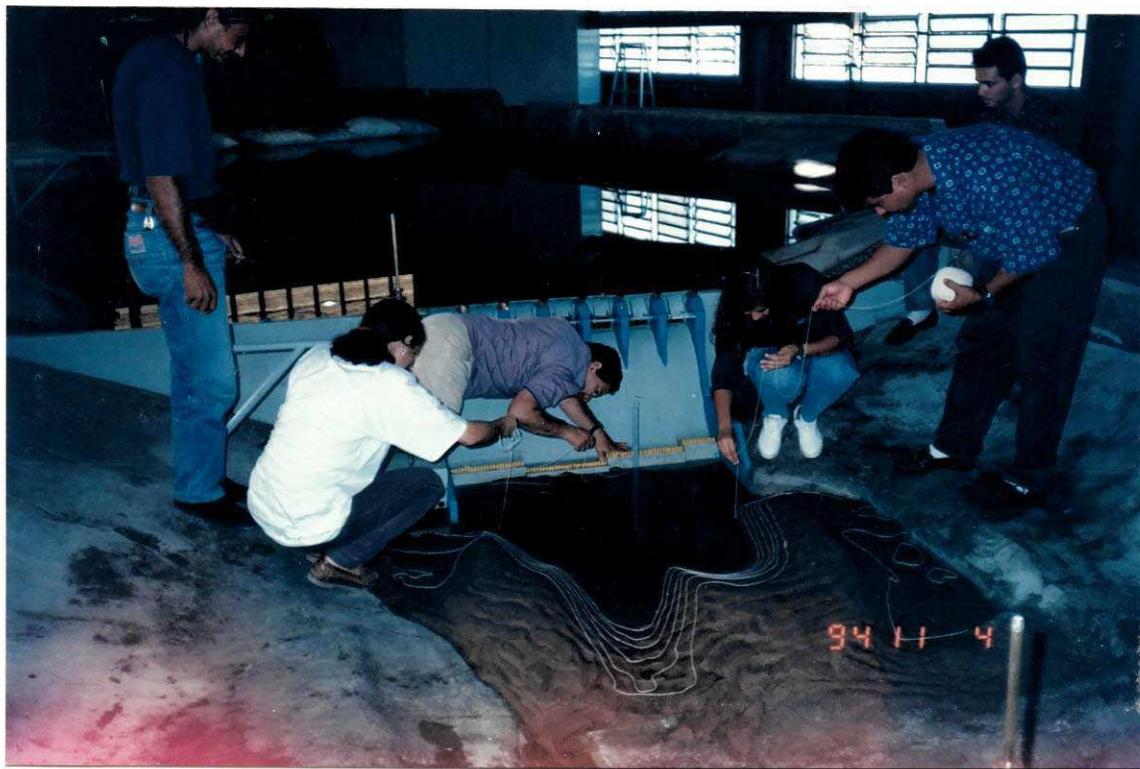


Foto 7 - Comportas parcialmente abertas com aberturas maiores no centro.



Foto 8 - Comportas parcialmente abertas com aberturas maiores no centro.



Foto 9 - Comportas parcialmente abertas com aberturas maiores no centro.



Foto 10 - Comportas parcialmente abertas com aberturas maiores no centro.

ENSAIO 7 - PADRÃO DE EROSÃO

COTAS DAS CURVAS DE NÍVEL

- 1ª) 149,5 mm
- 2ª) 139,5 mm
- 3ª) 129,5 mm
- 4ª) 119,5 mm
- 5ª) 109,5 mm
- 6ª) 99,5 mm
- 7ª) 89,5 mm
- 8ª) 79,5 mm
- 9ª) 69,5 mm
- 10ª) 59,5 mm
- 11ª) 39,5 mm

Obs.: Cotas em relação ao fundo do leito.

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
 DISCIPLINA: MODELOS REDUZIDOS DE OBRAS HIDRÁULICAS E RIOS
 PROFESSOR: MANOEL GILBERTO DE BARROS
 ALUNO : Marisa Chagas de Carvalho
 BARRAGEM DA PEDRA - MODELO TRIDIMENSIONAL
 ENSAIO Nº 6 - DATA: 03/11/94 - INÍCIO: 14:30 h - TÉRMINO: 17:30h

- ZERO DO VERTEDOR: 140mm
- LEITURA DA PONTA LINIMÉTRICA: 176,9mm
- CARGA DO VERTEDOR RETANGULAR: 36,9mm
- VAZÃO DO MODELO: e/s - VAZÃO DO PROTÓTIPO: m³/s
- TOMADA DA TURBINA: 0,5 l/s
- TOMADA DAS DESCARGAS DE FUNDO fechado

VIÃOS COMPORTAS	1	2	3	4	5	6	7
ABERTURAS (cm)	2	2	2	2	2	2	2

CONDIÇÕES DE FLUXO A MONTANTE:

- ZERO DA PONTA: - COTA DE REF.
- LEITURA: - COTA:

FLUXO DE APROXIMAÇÃO:

MAIOR FLUXO DE CIRCULAÇÃO OCORRE NA COMPORTA 2 APRESENTANDO MAIOR PRESSÃO, NAS DEMAIS COMPORTAS O FLUXO É TRANQUÍLO.

CONDIÇÕES DE FLUXO A JUSANTE:

- ZERO DAS PONTAS: - LOCAL 1: COTA DE REF:
- LOCAL 2:
- LEITURAS: - LOCAL 1: COTAS
- LOCAL 2: - LOCAL 2:

FLUXO DE JUSANTE:

NO BACIO DE DISSIPACÃO OCORREU JATO CONCENTRADO PRÓXIMO A COMPORTA 4.

Formação de ondas à direita.

Apresenta fluxo de circulação à esquerda.

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
 DISCIPLINA: MODELOS REDUZIDOS DE OBRAS HIDRÁULICAS E RIOS
 PROFESSOR: MANOEL GILBERTO DE BARROS
 ALUNO : MARISA CRISTINA DE CARVALHO
 BARRAGEM DA PEDRA - MODELO TRIDIMENSIONAL
 ENSAIO Nº 07 - DATA: 04/11/94 - INÍCIO: 13:00 h - TÉRMINO: 17:20h

- ZERO DO VERTEDOR: 140 mm
- LEITURA DA PONTA LINIMÉTRICA: 218,4 mm
- CARGA DO VERTEDOR RETANGULAR: 78,4 mm
- VAZÃO DO MODELO: e/s - VAZÃO DO PROTÓTIPO: m³/s
- TOMADA DA TURBINA: 0,5 l/s
- TOMADA DAS DESCARGAS DE FUNDO fechado

VÃOS COMPORTAS	1	2	3	4	5	6	7
ABERTURAS (cm)	2	3	5	6	5	3	2

CONDIÇÕES DE FLUXO À MONTANTE:

- ZERO DA PONTA: - COTA DE REF.
- LEITURA: - COTA:

FLUXO DE APROXIMAÇÃO:

Descreva vórtices em todos os vãos das comportas (1 a 7), sendo que na comporta 2 vórtice a direita e esquerda, na comporta 3 vórtice a direita, nos demais vórtices a esquerda.

CONDIÇÕES DE FLUXO À JUSANTE:

- ZERO DAS PONTAS: - LOCAL 1: COTA DE REF:
- LOCAL 2:
- LEITURAS: - LOCAL 1: COTAS
- LOCAL 2: - LOCAL 2:

FLUXO DE JUSANTE:

Descolamento do domínio nas comportas 1, 2, 6 e 7
 Freamento de circulação a esquerda.
 Formação de ondas a esquerda e a direita

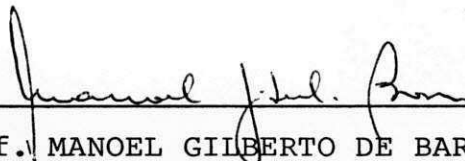
ANEXO 3

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
ÁREA DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
Av. Aprígio Veloso, 882 - Caixa Postal 506
58.100 - Campina Grande - Pb

D E C L A R A Ç Ã O

Declaro para os devidos fins que MARISA CHAGAS DE CARVALHO participou como ouvinte do Tópico Especial em Recursos Hídricos "MODELOS REDUZIDOS DE OBRAS HIDRÁULICAS E RIOS", ministrado no período de 05/10/94 a 31/10/94, tendo de desenvolvido todas as atividades previstas no referido tópico.

Campina Grande, 03 de janeiro de 1995



Prof. MANOEL GILBERTO DE BARROS