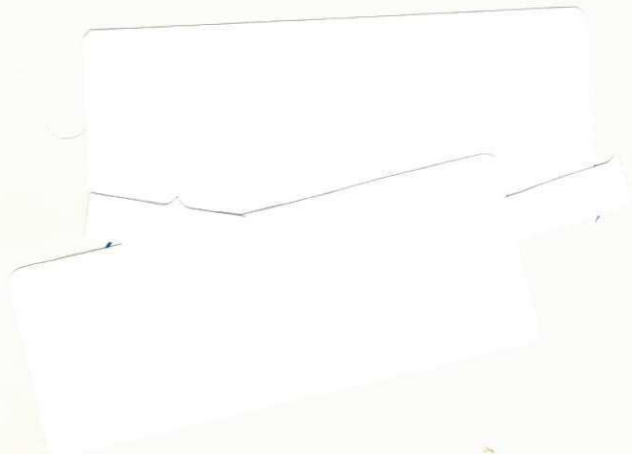


ATECEL / CHESF  
LAB. DE HIDRÁULICA

BARRAGEM DA PEDRA - JEQUIÉ (BA)  
ESTUDO EM MODELO REDUZIDO  
ESTÁGIO SUPERVISIONADO



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA

"ESTUDO EM MODELO REDUZIDO DA  
BARRAGEM DA PEDRA - JEQUIÉ - BA"  
"CONVÊNIO - ATECEL/CHESF"

ESTÁGIO SUPERVISIONADO

ALTINA SANDRA MEDEIROS DE BRITO



Biblioteca Setorial do CDSA. Setembro de 2021.

Sumé - PB

## ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	4
3. Metodologia.....	6
3.1. Modelo Bidimensional.....	6
3.2. Modelo Tridimensional.....	8
4. Atividades Desenvolvidas.....	10
4.1. Modelo Bidimensional.....	12
4.2. Modelo Tridimensional.....	16
5. Conclusão.....	21
6. Bibliografia.....	23
7. Relação de Desenhos.....	25

## 1 - INTRODUÇÃO

Cumprindo contrato firmado entre a Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF - e a Associação Técnica e Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior - ATECEL -, desenvolve-se atualmente no Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, o estudo em modelo reduzido da Barragem da Pedra -Jequié -Ba , com a finalidade de obter elementos necessários à operação dessa barragem.

A Barragem da Pedra construída no rio das Contas, está localizada a 20 Km à montante de Jequié. Seu reservatório <sup>tem</sup> ~~com~~ capacidade de armazenamento de

1700 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, à qual corresponde à cota 228,30 m . Nesta cota o reservatório tem 72 Km de extensão , abrangendo uma área de 10 milhões de metros quadrados.

O rio das Contas, importante curso d'água incluído entre os cinco principais rios do Estado da Bahia, nasce na vertente leste da Serra da Almas na Chapada Diamantina e é um dos componentes da "Bacia do Leste".

Sua bacia hidrográfica é da ordem de 53 mil quilômetros quadrados, das quais três quartas partes se acham situadas no pólígono das secas, com uma extensão de pouco mais de 500 Km.

Seu regime, exclusivamente torrencial, apresenta grandes variações de descargas, em épocas de enchentes, já ultrapassou a casa dos 4 mil metros cúbicos por segundo e durante a estiagem já foi registrada descarga nula.

A finalidade principal desta barragem é a geração de energia elétrica, além de funcionar como regularizadora da vazão da Usina Funil situada 90 Km a jusante da mesma.

Este relatório corresponde à descrição das atividades executadas, como estágio supervisionado , no referido estudo durante o período: 01/11/79 ca

30/05/80, em regime de trabalho de 20 horas semana-  
is.

## 2 - OBJETIVO

O estudo em modelo reduzido da Barragem da Pedra, compreende a determinação dos seguintes parâmetros hidráulicos necessários à operação da mesma:

- Determinação das Curvas de cota/abertura/vazão do sistema extravasor de superfície;
- Idem para o descarregador de fundo;
- Determinação da "Lei de Manobra das comportas do extravasor de superfície, em condições normais de operação, em contingências de cheias Máx.Máx (5.000 m<sup>3</sup>/s) e Máx.Excepcional (10.000 m<sup>3</sup>/s);



- Estudo do comportamento da lâmina  
d'agua no extravasor de superfície quan  
to:

- aproximação
- pressões negativas
- descolamentos
- erosão
- salto.

### 3 - METODOLOGIA

Como alguns parâmetros a serem estudados exigem uma maior precisão para a sua determinação, estão sendo construídos em um galpão com  $400 \text{ m}^2$  de área, do laboratório de hidráulica, dois modelos hidráulicos: um Bidimensional na escala 1 : 50 e outro Tridimensional na escala 1 : 100.

#### 3.1 - Modelo Bidimensional

Para os parâmetros que necessitam de uma maior precisão das medidas, foi construído um modelo Bidimensional na escala 1 : 50, envolvendo a

reprodução de um vão completo e duas metades do extravasor de superfície.

Neste modelo serão estudados os seguintes parâmetros:

- Determinação das curvas de cota/abertura/vazão do sistema extravasor de superfície.
- Comportamento da lâmina d'água no extravasor de superfície quanto: pressões negativas, descolamentos, saltos e padrão de erosão no leito do rio, após a bacia de dissipação.

Desde que o escoamento se processa à superfície livre, a semelhança de Froude foi a mais indicada. A condição de semelhança dinâmica pela Lei de Froude permite a transformação das várias grandezas entre o protótipo e o modelo pelas seguintes relações:

- velocidade..... $V_p = 7,092 V_m$
- pressões..... $P_p = 50,00 P_m$
- tempos..... $T_p = 7,092 T_m$
- vazões..... $Q_p = 17677,67 Q_m$   
(vazões por unidade de largura)

como os índices "p" e "m" indicando respectivamente, protótipo e modelo.

A vazão máxima a ser escoada pelo modelo bidimensional em condições de enchentes máxima excepci

onal será de 161,62 l/seg para os dois vãos de extravasor de superfície.

### 3.2 - Modelo Tridimensional

O modelo tridimensional envolve os aspectos gerais da barragem da Pedra e obras acessórias, além da reprodução da topografia à montante e à jusante, correspondendo a um trecho de 2 km de vale do rio das Contas abrangendo assim uma área de aproximadamente 300 m<sup>2</sup>.

Neste modelo serão estudados os seguintes parâmetros:

- Determinação das curvas/<sup>cota</sup>abertura/vazão para o descarregador de fundo.
- Determinação da "Lei de Manobra" das comportas do extravasor de superfície em condições normais de operação, e de ocorrência de cheias Máx; Máx. (5.000 m<sup>3</sup>/s) e Máx. Excepcional (10.000 m<sup>3</sup>/s).
- Estudo do comportamento da lâmina d'água no extravasor de superfície quanto:
  - aproximação
  - descolamento
  - salto

*9000*

Desde a semelhança de Froude foi também a indicada para este modelo, tem-se as seguintes relações:

- velocidades..... $V_p = 10 V_m$
- pressões..... $P_p = 100 P_m$
- tempos..... $T_p = 10 T_m$
- vazões..... $Q_p = 10.000 Q_m$

(vazão por unidade de largura)

com os índices "p" e "m" indicando respectivamente , protótipo e modelo.

Para a vazão Máx.Excepcional no protótipo' (10.000 m<sup>3</sup>/s) escoará no modelo uma vazão de 100 l/s.

#### 4 - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

O trabalho foi iniciado com uma pesquisa bibliográfica, para uma melhor identificação com a tecnologia empregada atualmente nos estudos em modelos reduzidos, bem como, para um bom entendimento dos parâmetros que envolvem os vários fenômenos a serem reproduzidos nos modelos reduzidos da barragem da Pedra.

A partir de dados fornecidos pela CHESF para o desenvolvimento do trabalho, foram copiados nas escalas 1 : 50 e 1 : 100 correspondentes ao modelo bidimensional e ao Tridimensional, respectivamente, os desenhos necessários à confecção das peças que foram reproduzidas para a construção dos

modelos, bem como os desenhos relativos à locação dos mesmos no galpão já mencionado.

Conhecidas as vazões máximas a serem reproduzidas nos modelos, foi dimensionado o sistema de alimentação dos mesmos, o qual consta de um reservatório inferior, sistema de bombeamento, reservatório superior e canais de recirculação.

A alimentação dos modelos se fará por um processo de recirculação, sendo iniciado no reservatório inferior como capacidade de  $120 \text{ m}^3$ . Deste, a água é elevada por meio de um sistema de bombeamento até o reservatório superior que tem capacidade de  $40 \text{ m}^3$  e mantém seu nível constante por meio de calhas.

As bombas apresentam as seguintes características: vazão =  $150 \text{ l/seg}$ ; potência =  $26 \text{ C.V.}$  e diâmetro de sucção =  $350 \text{ mm}$ , uma delas, e vazão =  $100 \text{ l/seg}$ ; potência =  $18 \text{ C.V.}$  e diâmetro de sucção =  $300 \text{ mm}$ , para a outra.

Os modelos serão alimentados por tubulações independentes para que não haja alterações nas condições de fluxo quando da operação conjunta dos mesmos.

Do reservatório superior a água é distribuída aos modelos e destes encaminhada para o canal de recirculação, de onde retornará ao reservatório.

inferior, completando-se assim o ciclo.

O canal de recirculação foi locado sobre o piso do galpão do Laboratório de Hidráulica de acordo com desenho nº 03/79.

A escavação da lage para a sua execução obedeceu as características do dimensionamento.

Foi feita a consolidação do terreno através da compactação do atêrro e lançamento de uma camada de 20 cm de metralha devidamente compactada e molhada para evitar fugas d'água.

Sua construção foi feita com alvenaria de tijolo maciço e o acabamento com argamassa impermeabilizante.

#### 4.1 - Modelo Bidimensional

A locação do modelo bidimensional sobre a lage de piso do galpão foi feita segundo o desenho nº 03/79.

O modelo bidimensional foi construído em um canal de alvenaria de tijolo comum com revestimento de material impermeabilizante.

Foi executada uma bacia de tranquilização para este modelo, sendo que na entrada do canal foi



dado um formato curvo na horizontal como também na vertical, como o objetivo de evitar correntes dirigidas.

A medição de vazão a ser escoada no modelo será feita através de um vertedor retangular sem contração, previamente calibrado, instalado em uma cuba vertedora, a qual descarregará na bacia de tranquilização.

A fôrma para o modelo do perfil vertente foi confeccionada em aglomerado e lâmina de alumínio.

Foram dimensionadas 13 tomadas de pressão' ao longo do perfil vertente com a finalidade de se observar o comportamento do fluxo, desenho nº 06/79.

Estas tomadas serão ligadas a um multimanômetro localizado na parede do canal. Foram confeccionadas em tubos de cobre de 1/4", tendo sua seção de entrada reduzida a 1/32".

Neste local será instalada uma lâmina de vidro para uma melhor visualização do fluxo através do perfil vertente e da bacia de dissipação.

O perfil foi executado em concreto armado para evitar fissuras e resistir aos possíveis esforços de flexão.

Após o enchimento da fôrma, deixou-se o perfil imerso em água por 20 dias para que realizasse

a cura do concreto.

Decorrido esse período, retirou-se a fôrma, e o perfil foi transportado para o local de sua instalação.

Ao se fazer esta instalação deixou-se um espaço livre sob o mesmo para a acomodação das tomadas de pressão que dele saem.

Foram feitas 2 calhas sobre o vertedor, sendo uma relativa ao Stop-log e a outra à comporta de setor.

A ajustagem entre o perfil vertente e a parede, como também a regularização de sua superfície foi feita com massa plástica e o retoque final com lixa, tendo-se o cuidado de não danificar as tomadas de pressão nele instaladas.

Os pilares foram moldados em fôrma de madeira com argamassa forte e deixados imersos por 2 dias para melhor hidratação do cimento.

Devido à retração do cimento foi necessário fazer uma correção e regularização dos pilares, ao serem retirados da fôrma. A mesma foi feita com massa Iberê e posterior lixamento, para se obter uma superfície lisa e sem ranhuras, até que se alcançasse as formas e dimensões previstas em desenhos, o que foi feito com o auxílio de um gabarito feito em compensado.

Na parte lateral dos pilares foi feita uma calha em cada um deles, correspondente ao Stop-log, bem como, instaladas 5 tomadas de pressão que tem o objetivo de observar o comportamento do fluxo ao longo da parede do pilar.

As comportas são do tipo setor e foram reprodutivas em chapa de cobre, recurvadas até tomar o formato do arco previsto em projeto, o que se conseguiu por meio de percussão.

Como este processo deixou irregularidades na superfície das comportas, fez-se a sua regularização com a aplicação de massa plástica Iberê e em seguida seu lixamento.

O acabamento final foi dado com aplicação de 1 demão de tinta para visualização no modelo.

Estas comportas foram instaladas nos pilares através de eixos horizontais e verticais que permitem um acionamento manual.

Para o sistema de dissipação foram construídos dentes em madeira com dimensões e formas correspondentes ao protótipo. Eles receberam uma aplicação de massa plástica Iberê e em seguida foram devidamente lixados.

A regularização das formas destes dentes, foi feita em conjunto até que se alcançasse uma boa

aproximação entre eles; como acabamento final foram pintados.

A cota base para implantação da bacia de dissipação, foi tomada de acordo com dados fornecidos pela CHESF.

#### 4.2 - Modelo Tridimensional

O modelo tridimensional foi colocado sobre uma laje de concreto armado de 7 cm de espessura com ferragem mínima, para evitar recalques e consequentes fugas d'água, bem como evitar fissuras que possam ocorrer quando o mesmo entrar em operação, uma vez que o peso de água a escoar no modelo é considerável e não se tem confiança quanto à resistência do atêrro executado quando <sup>da</sup> ~~da~~ construção do galpão.

A locação foi feita de acordo com as coordenadas mostradas no desenho nº 3/79, e contou com o auxílio de instrumentos topográficos, sendo utilizados o método da radiação já que é o mais indicado para pequenas distâncias.

Feito o polígono de contorno do modelo, foi construída uma parede de meia vez sobre o mesmo, a qual foi revestida com argamassa impermeabilizante no seu interior, para melhorar estanqueidade do

sistema.

Considerando os fenômenos a serem estudados e tentando dar uma melhor condição de aproximação do fluxo, foi reproduzida a topografia de montante, o que corresponde a 1 km de rio das Contas, com perfis normais ao eixo do rio com uma distância aproximada de 50 m entre eles.

Estes perfis foram confeccionados em compensado de 4 mm de espessura e instalados transversalmente ao polígono do modelo tridimensional, admitindo a lage com cota mínima igual a 160,0 m. ✓

Foi determinado um nível de referência (Rn) para se fazer o levantamento das cotas dos perfis, o que contou com o auxílio de um nível topográfico e uma régua milimetrada com verticalização frontal e lateral, sendo verificados de 4 a 5 pontos ao longo dos perfis para uma melhor precisão do nivelamento, e em consequência da reprodução das cotas.

O espaço entre os perfis foi preenchido por camadas de metralhas de aproximadamente 10 centímetros de espessura, bem espalhadas e continuamente molhada e compactada, sob o controle rigoroso para evitar futuros recalques.

Ao ser atingido uns 5 cm abaixo do tampo

dos perfis foi encerrada a adição de metralhas, fazendo-se um recobrimento com argamassa de cimento e areia, o qual foi moldado com uma régua evitando pontos angulosos nos contornos dos perfis para que se obtivesse uma melhor aproximação com o protótipo em estudo. O acabamento final foi feito com uma nata de cimento e aditivo impermeabilizante bem espalhada para que se obtivesse uma superfície mais lisa possível, ficando assim as rugosidades em escala com o protótipo.

A reprodução da topografia de jusante não foi feita ainda devido à ocorrência de uma grande cheia no mês de janeiro deste ano, no rio das Contas, o que obrigou a um novo levantamento das calhas do rio.

Na entrada do modelo foi construída uma bacia de tranquilização dotada de uma soleira espessa com o objetivo de se obter uma distribuição da lâmina d'água na seção inicial.

Para o controle do nível d'água de jusante será instalada na seção final do modelo uma comporta.

As vazões serão controladas por registro de gaveta e medidas em um vertedor retangular sem contração, previamente aferido e instalado em uma

cuba vertedora no início do modelo.

Sobre o eixo locado na fase de levantamento do contorno do polígono deste modelo, foi moldada a barragem. A fôrma foi confeccionada em madeirite e seu enchimento com concreto simples.

Depois do período de cura foi retirada a fôrma e feito o acabamento em argamassa fina.

Os pilares foram moldados em fôrma de madeira com argamassa forte e deixados imersos por 2 dias para melhor hidratação do cimento.

Após a retirada da fôrma foi feita a regularização de sua superfície com argamassa Iberê e lixamento. Nas suas laterais foi feita uma calhacora correspondente ao Stop-log.

As comportas são do tipo setor e foram confeccionadas em chapas de cobre. Sua fôrma foi obtida por percussão e regularização com aplicação de massa plástica Iberê com posterior lixamento. O acabamento final foi aplicação de 1 demão de tinta.

A soleira dentada da bacia de dissipação foi confeccionada em madeira com dimensões e formas correspondentes ao protótipo. Os dentes receberam uma aplicação de massa plástica Iberê e posterior lixamento .

A regularização das formas foi conseguida em conjunto e o acabamento final obtido com a aplicação de tinta.

A cota base para implantação dos mesmos foi tomada de acordo com os dados fornecidos pela CHESF.

As tomadas de água correspondentes à turbina e a descarga de fundo não foram ainda reproduzidas por que as cotas dos canais de fuga das mesmas estão sendo determinados no levantamento que ora se realiza.

Os detalhes que não influenciam nas características do escoamento não foram considerados na construção dos modelos, pois não estão estudados aspectos estruturais da obra.



5 - CONCLUSÃO

Em virtude da ocorrência de cheias de grande porte no rio das Contas, durante o último período chuvoso, o estudo em modelo reduzido da Barragem da Pedra não foi concluído no prazo inicialmente estabelecido.

Esse novo evento hidráulico, exigiu a coleta de novos dados da calha do rio à jusante da barragem, o que está sendo feito atualmente.

O estágio constou portanto da parte de projeto e construção parcial dos modelos. Apesar disso, o trabalho prático tornou-se útil pela aplicação de técnicas de engenharia, assimiladas em disciplinas

tais como: Topografia, Construção Civi, Hidráulica ,  
bem como, proporcionou a aprendizagem de técnicas de  
modelo reduzido, um campo pioneiro no norte e nordeste  
do Brasil.

6 - BIBLIOGRAFIA

- Handbook of Applied Hydraulics  
Davis - Sorenson - Mc. Graw Hill
- Hydraulic Design of Stilling Basins and  
Energy Dissipators .  
Bureau of Reclamation
- Model Studies of Imperial Dam  
Bureau of Reclamation
- Relatório de trabalhos em Modelos Redu-  
zidos do Centro Tecnológico de Hidráulica  
- USP - São Paulo
- Manual de Hidráulica  
J. M. De Azevedo, Neto

- Curso de Hidráulica  
Eurico Trindade Neves
- Manual de Hidráulica  
Armando Lencastre

7 - RELAÇÃO DOS DESENHOS

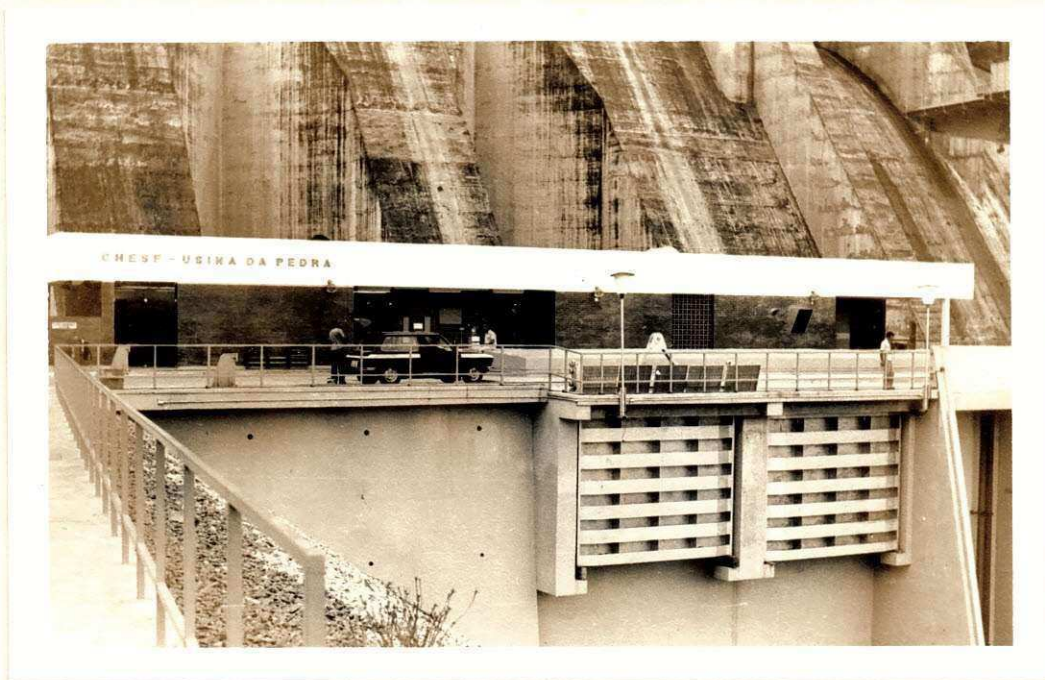
- 02/79 - Modelo Tridimensional -  
Modelo e Perfis - Locação
- 03/79 - Modelo Bidimensional e Tridimensional - Lay-Out
- 04/79 - Modelo Tridimensional  
Planta e Corte
- 05/79 - Modelo Bidimensional  
Planta e Corte
- 06/79 - Modelo Bidimensional  
Locação das Tomadas de Pressão
- 09/79 - Modelo Bidimensional



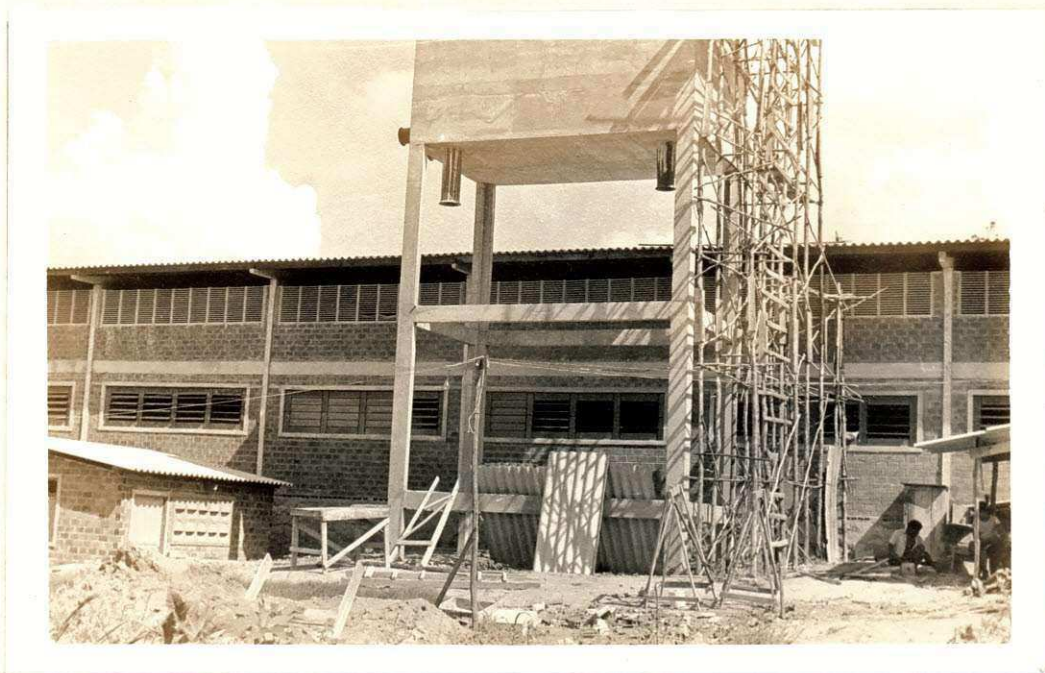
Barragem da Pedra - Vista de Jusante



Barragem da Pedra - Vertedores e Usina



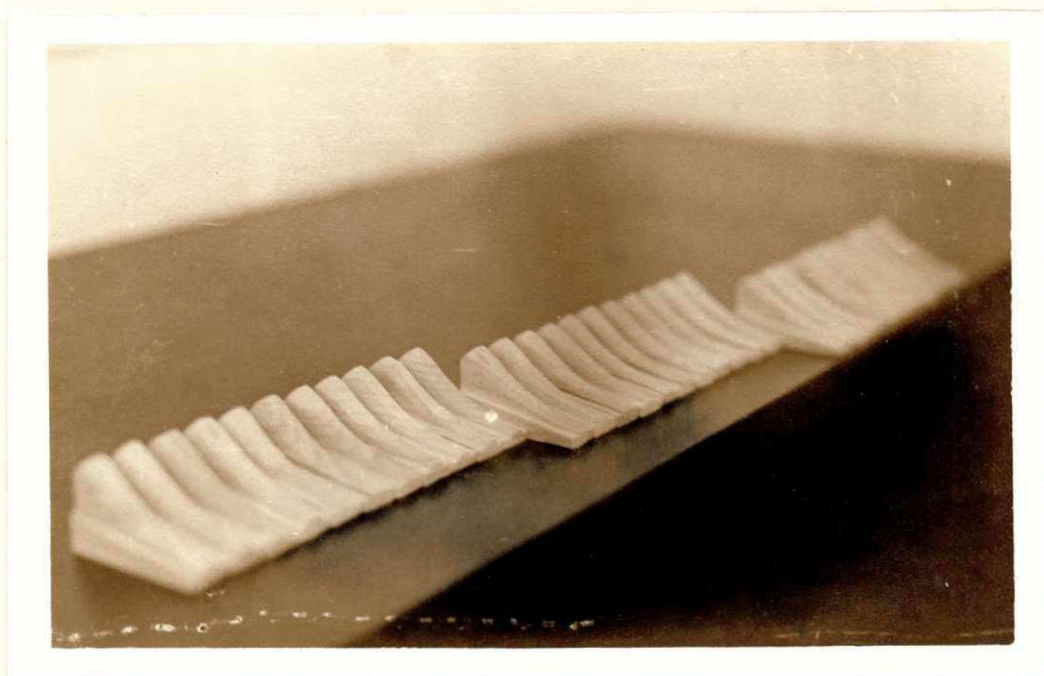
Barragem da Pedra - Vista da Usina



Modelo Reduzido da Barragem da Pedra  
Sistema de Alimentação

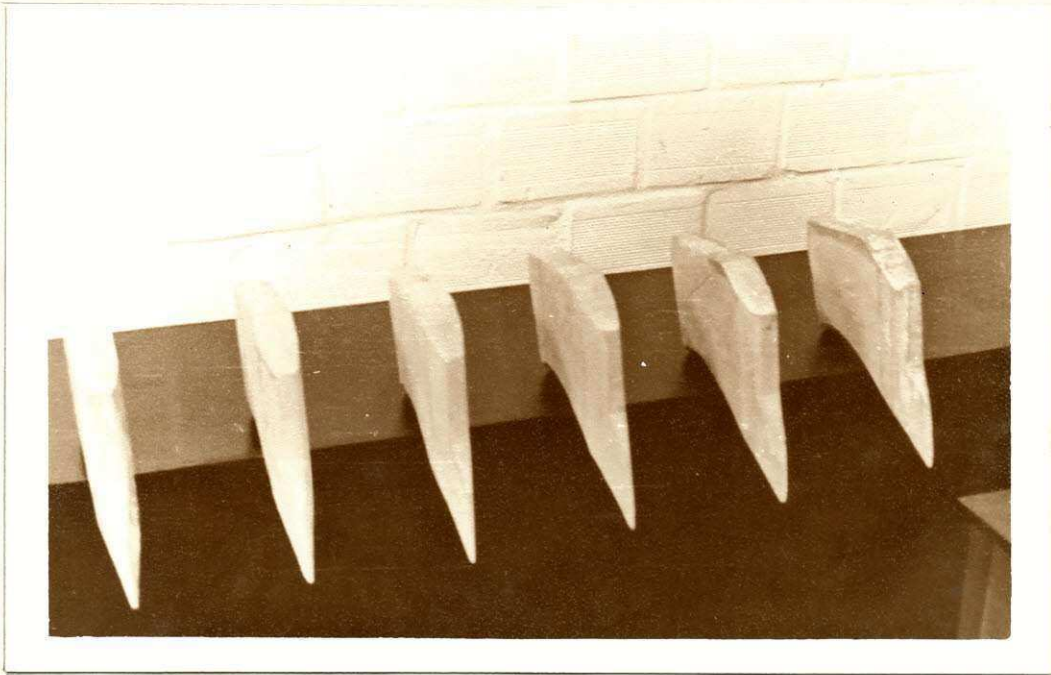


Modelo Bidimensional - Extravasor de Superfície

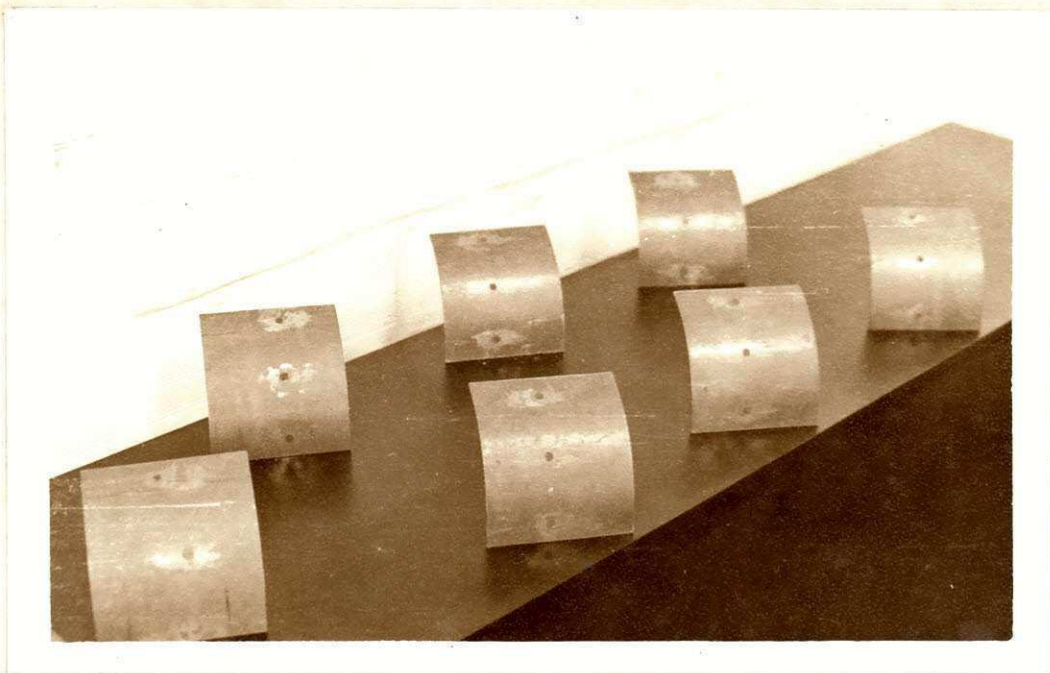


Modelo Bidimensional - Dentes da Soleira de  
Dissipação

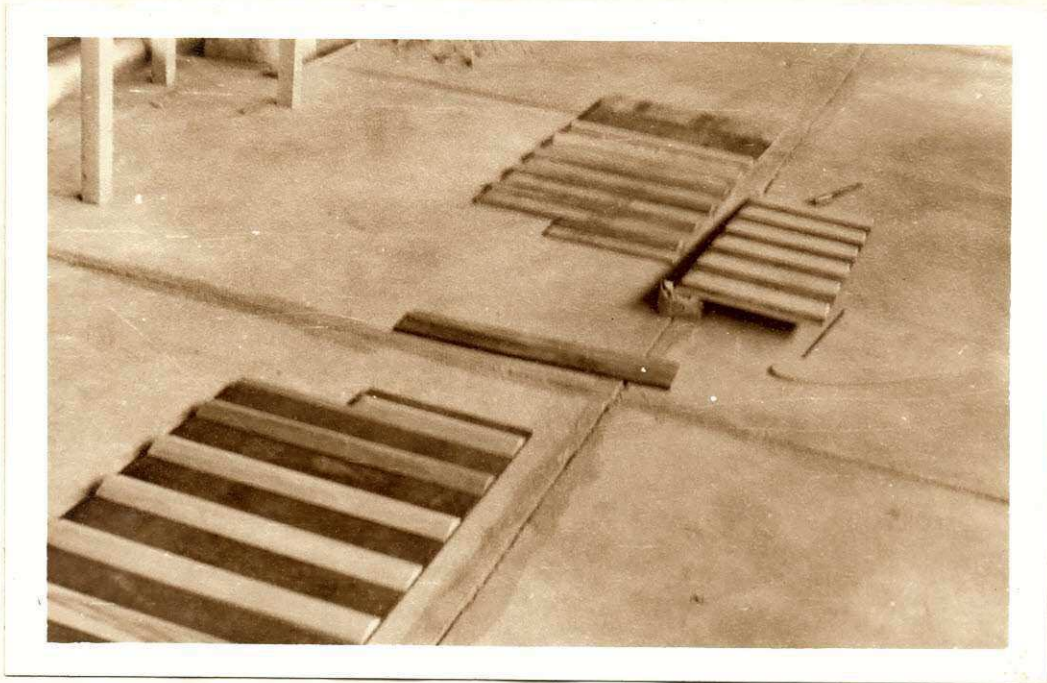




Modelo Tridimensional - Pilares



Modelo Tridimensional - Comportas



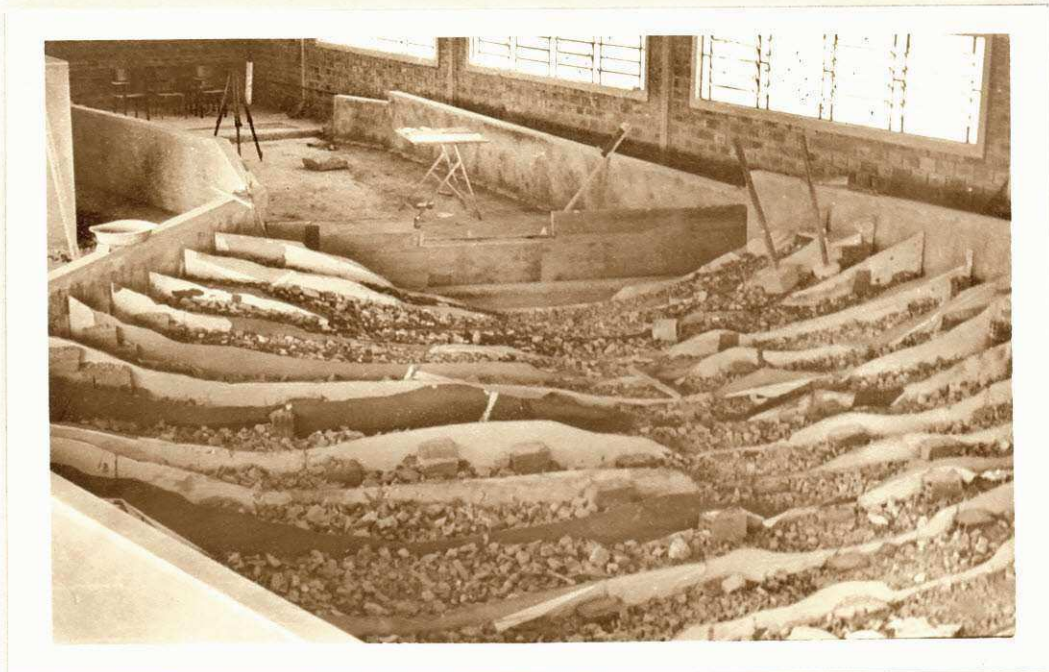
Modelo Tridimensional - Fôrma da Barragem



Modelo Tridimensional - Dentes da Soleira  
de Dissipação



Modelo Tridimensional - Vista dos Perfis



Modelo Tridimensional - Vista Geral