

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

ARMANDO BEZERRA DE BRITO



Biblioteca Setorial do CDSA. Setembro de 2021.

Sumé - PB

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Objetivo.....	3
3. Construção dos Modelos.....	5
3.1 Modelo Bidimensional.....	6
3.1.1 Características Gerais.....	6
3.1.2 Detalhes Cosntrutivos.....	8
3.2 Modelo Tridimensional.....	11
3.2.1 Características Gerais.....	11
3.2.2 Detalhes Cosntrutivos.....	12
4. Conclusão.....	17
5. Bibliografia.....	19
6. Relação dos Desenhos.....	26

1 - INTRODUÇÃO

Cumprindo ^o ~~ao~~ contrato CT - E - 226330 celebrado entre a Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF e a Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior - ATECEL, ^{estas sendo} serão executados no Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, campus Campina Grande, estudos hidráulicos em modelo reduzido da Barragem da Pedra - Jequié - Ba, para obtenção de elementos necessários à operação daquela barragem.

A barragem foi construída no rio das Contas, no local denominado Pedra da Santa, situada a 20 km a montante da cidade de Jequié, no Estado da Bahia, para a regularização das descargas do rio das Contas

onde a área de drenagem é de 37.000 Km², criando um reservatório de acumulação de 1700 x 10⁶ m³, correspondente à cota 228,30 m. Nesta cota o reservatório tem 72 km de extensão abrangendo uma área de 10 milhões de metros quadrados. A finalidade principal desta barragem é a geração de energia hidroelétrica. Além de funcionar como, regularizadora das vazões da Usina Funil, situada a jusante.

Este relatório se refere as etapas construtivas, dos modelos, da Barragem da Pedra, foi que em função de outros eventos hidráulicos de grande importância, ocorridos na referida barragem, exigiram novos levantamentos, o que implicou numa alteração do cronograma anteriormente estabelecido ultrapassando o prazo previsto para o estágio.

2 - OBJETIVO

A partir da operação de dois modelos reduzidos, um bidimensional e outro tridimensional, construídos em um galpão do Laboratório de Hidráulica.

↳ Serão determinados parâmetros tais como :
^{abertura} relação cota/vazão para os descarregadores de superfície e de fundo e lei de manobra das comportas de setor para uma faixa de vazão a ser estabelecida pela CHESF.

Será também estudado nos modelos, o comportamento da lâmina d'água no extravasor de superfície, quanto aos aspectos de pressão e aproximação, bem como, o deslocamento do ressalto hidráulico na bacia de dissipação.

Devido ás características erosivas da ca
lha do rio, no trecho imediatamente à jusante da bar
ragem, serão também estabelecidos padrões de erosão'
do trecho.

3 - CONSTRUÇÃO DOS MODELOS

Desde que alguns dos parâmetros a serem de terminados exigem uma maior precisão, estão sendo construídos em um galpão de 400 m² do Laboratório de Hidráulica, dois modelos da Barragem da Pedra.

Um modelo bidimensional na escala 1 : 50 , envolvendo um vão e duas metades do descarregador de superfície e um tridimensional na escala 1 : 100 onde está representada toda a obra.

O conjunto dos modelos será alimentado por um sistema de recirculação, constituído de um reservatório inferior com 120 m³ de volume, um sistema de bombeamento, um reservatório superior de nível

constante com 40 m^3 de volume e canais de retorno até o reservatório inferior.

Sequência para o sistema de alimentação.

- Reservatório Inferior
- Sistema de Bombeamento
- Reservatório Superior
- Canais de Retorno

Para evitar oscilações na operação conjunta dos modelos, a alimentação dos modelos será independente uma da outra.

3.1 - Modelo Bidimensional

3.1.1 - Características Gerais

Como o objetivo de estudar aqueles parâmetros que exigem uma escala maior, para que se tenha uma 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 tópicos:

- Determinação das relações cota/abertura/vazão do sistema extravasor de superfície

- Comportamento da lâmina da lâmina d'água no extravasor de superfície quanto:
 - pressões negativas
 - descolamentos
 - ressaltos
- Padrão de erosão no leito do rio, imediatamente à jusante da barragem.

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

velocidades..... $V_p = 7,092 V_m$
pressões..... $P_p = 50,000 P_m$
tempos..... $T_p = 7,092 T_m$
vazões..... $Q_p = 17.677,67 Q_m$
(vazão/m de crista do vertedor);

onde os índices "p" e "m" indicam respectivamente protótipo e modelo.

A vazão máxima a ser escoada pelo modelo bidimensional em condições de enchente máxima excepcional será de 161,62 (para dois vãos do extravasor de superfície).

3.1.2 - Detalhes Construtivos

A fase inicial da construção do modelo bi dimensional foi a locação do canal, sobre o piso do Laboratório de Hidráulica.

Esta locação foi executada obedecendo o "LAY-OUT" do conjunto em estudo. Feita a locação, foi necessário quebrar a capa da lage de piso do galpão, acompanhando o contorno do canal. Sobre esta pequena fundação foi erguida uma parede dupla (uma vez) em alvenaria de tijolos comuns (manual), até a altura pré-estabelecida em planta, para depois ser feito o acabamento externo do mesmo.

Vale solientar que o referido canal é constituido de duas partes distintas:

- 1 - Caixa de tranquilização cujo piso se encontra um nível do canal propriamente dito.
- 2 - Canal propriamente dito onde foi instalado o vertedor do modelo.

O extravasor de superfície do modelo bidimensional cuja crista corresponde a um vão completo e duas metades do vertedor, foi construído em concreto aramado, fora do canal, em forma de material aglomerado, com a face do mesmo em alumínio.

Ao longo do perfil do vertedor foram colo-
cadas 13 tomadas de pressão em tubos de cobre de 1/4"
de diâmetro os quais serão ligados a um multimanôme-
tro a ser instalado na parede externa do canal.

O enchimento da fôrma foi processado , dei-
xando-se curar mais ou menos uns 20 dias, sendo o
perfil, após a retirada da fôrma, transportado para o
local definitivo no canal.

Os pilares da crista do extravasor de super-
fície, em número de 2, foram moldados em fôrma de
madeira, preenchida com concreto simples na propor-
ção de 6 de cimento para 6 de areia lavada e 4 de
pedrisco (granito), deixando-se curarem para depois
serem imersos em água para acelerar a hidratação do
aglomerante.

Nas faces dos pilares foram instaladas to-
madas de pressão, tomadas estas em tubos de cobre de
1/4" de diâmetro.

Como após a cura dos pilares a retração do
cimento bem como as irregularidades foram evidentes
tornou-se necessário a aplicação; sempre com o cuida-
do de não obstruir as tomadas de pressão nas faces
dos pilares; de massa plástica Iberê devidamente li-
xada para se chegar a rugosidade necessária.

As comportas tipo setor, utilizadas no

protótipo, foram reproduzidas no modelo bidimensional, em chapa de cobre, devidamente recurvada até ~~for~~ ^{to} formar a forma do arco previsto em planta. Dada a elasticidade do material o recurvamento feito em máquina não atingiu o arco desejado necessitando que às mesmas fossem recurvadas por percussão (martelo). Como este processo deixou irregularidades sobre a comporta, a sua regularização foi feita com aplicação da massa plástica Iberê com cuidadosos lixamento. Terminado isto as comportas foram pintadas para melhor visualização no modelo como um todo. Estas serão instaladas nos pilares através de eixos horizontais e verticais.

A bacia de dissipação do modelo bidimensional constituída de uma soleira dentada foi moldada em madeira mole de acordo com as formas e dimensões estabelecidas para a escala do modelo. Devido ao pequeno formato destes dentes dissipadores a dificuldade de se chegar a forma prevista foi evidente. ~~To~~ [?] ~~Todavia~~ com boa aproximação; sendo devidamente lixados depois de uma aplicação de massa plástica; foi feita a análise da forma de todo o conjunto de dissipadores e não cada um destes individualmente, possibilitando assim uma maior facilidade para execução do projeto.

3.2 - Modelo Tridimensional

3.2.1 - Características Gerais

Para o estudo de outros parâmetros solicitados pela CHESF, está sendo construído no Laboratório de Hidráulica, um modelo tridimensional na escala 1 : 100 envolvendo os aspectos gerais da barragem da Pedra.

Numa área de aproximadamente 130 m², foi reproduzida a barragem e obras acessórias, além da topografia de montante, correspondente a um trecho de 1 km do vale do rio das Contas.

Devido a ocorrência de uma cheia de grande porte tornou-se necessário um novo levantamento da calha do rio, a jusante da barragem, o que está sendo ^{efetuado} construído, para o estudo dos seguintes tópicos :

- Determinação das curvas de cota/abertura /vazão para o descarregador de fundo;
- Determinação da "Lei de Manobra" das comportas de extravasor de superfície em condições normais de operação e em contingência de cheias Máx. (5.000 m³/s) e Máx.Excepcional (10.000 m³/s);
- Estudo do comportamento da lâmina d'água no extravasor de superfície quanto:

- Aproximação
- Descolamento
- Salto

Desde que a semelhança de Froude é também 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..... $Q_p = 100.000 Q_m$

onde os índices "p" e "m" indicam respectivamente protótipo e modelo.

Para vazão máxima excepcional no protótipo ($10.000 \text{ m}^3/\text{s}$) escoará uma vazão de 100 l/s no modelo.

3.2.2 - Detalhes Construtivos

Sobre o piso do Laboratório de Hidráulica foi construída uma laje, sobre a qual ^{está apoiado} se apoiará o modelo tridimensional. A laje de acordo com o projeto apresentado à CHESF, apesar de ter sido prevista em concreto simples, foi necessário ser armada nas duas direções e aumentada a sua espessura para aproximadamente 7 cm, com o objetivo de se garantir a

não ocorrência de fugas d'água durante a operação do modelo.

Depois de se ter a lage pronta, ocorreu a locação do polígono de contorno do modelo tridimensional. Os verticês deste polígono foram locados a partir de levantamento topográfico, utilizando neste, o método da radiação, já que é o mais prático e preciso para pequenas distâncias, visto que os ângulos bem como as distâncias ao instrumento (Teodolito) centrado foram previamente calculados em escritório.

A fase que se seguiu, esta, foi a locação das secções transversais dadas em perfis topográficos representativos de um trecho a montante da barragem, do vale do rio das Contas (dados estes fornecidos pela CHESF). Sobre o polígono levantado, estas secções foram distanciadas ao longo do polígono. Segundo as distâncias fornecidas pelo levantamento topográfico, tendo isto pronto, e ligando estes perfis, as secções ficam estabelecidas sobre as quais se apoiam os perfis representativos. Estes perfis foram cortados em compensados de 4 mm de espessura, passando-se agora ao levantamento das cotas dos perfis sobre a lage. (base)

A lage foi admitida como cota mínima (cota de base) igual a 160,00, a partir desta cota

determinamos ^{de} um R.N. (referência de Nível) para o levantamento das cotas dos perfis. Este levantamento foi feito com instrumento topográfico conveniente (nível) e uma mira milimetrada com verticalização frontal e lateral a partir de dispositivos (nível de bolha) instalados na mesma. O levantamento das cotas dos perfis (tomando-se como base a cota 160,00 da lage) foi verificado em 4 pontos ao longo do mesmo, para uma melhor precisão dos trabalhos.

Depois de locados no poligono e levantada as cotas dos perfis, passou-se ao contorno de mesmo com paredes de alvenaria de tijolos, obedecendo os limêtes estabelecidos na locação. Esta parede (de meia vez) de aproximadamente 1,02 m de altura, foi externamente acabada, com aplicação de argamassa de traço 1 : 6 e regularização à regua. Na face interna da parede além desta regularização foi feita a aplicação de uma nata de cimento com aditivo impermeabilizante (SIKA) para melhor estanqueidade do sistema.

Sobre o eixo locado na lage após levantamento do contorno do poligono do modelo tridimensional foi moldada a barragem do modelo. Para a modelagem desta barragem, foi necessário a confecção da fôrma, recorrendo-se para a confecção desta, aos detalhes estabelecidos nas plantas fornecidas pe

la CHESF. Esta forma foi confeccionada em "madeirit". Depois de todas as partes desta forma esta rem prontas, a mesma foi montada no local onde foi concretada em concreto simples na proporção 6 : 3 : 2 deixando-se 40 dias para a cura do concreto, para só ^{APÓS} retirarmos a forma.

As tomadas d'água que fazem parte do cor po da barragem ainda não foram reproduzidas, porque falta o levantamento do trecho a jusante da mesma, no qual está incluído o canal de fuga da turbina.

Os pilares da barragem, em número de 7, fo ram moldados, aprtir de desenhos fornecidos pela CHESF, em fôrma de madeira com argamassa de traço forte na proporção de 1 : 1 e deixados imersos em água por 48 horas, para melhor hidratação do aglome rante. Como a retração da argamassa foi evidente bem como diversas irregularidades, foi necessário uma correção e regularização de tais inconvenientes, esta correção foi feita toda em massa plástica Iberê e lixadas até se chegar a forma e dimensões deseja das (previstas em projeto).

A massa plástica Iberê, foi preferida, ~~foi preferida~~, dada a sua alta resistênciamecânica, bem como a resistênciamecânica à ação erosiva da água.

As comportas do tipo setor, utilizadas no

protótipo, foram reproduzidas no modelo, em chapa de cobre, devidamente recurvadas até tornar a forma do arco, previsto em planta. Dada a elasticidade do material o recurvamento feito em máquina não atingiu ao arco desejado necessitando que as mesmas fossem recurvadas por percussão (martelo), como este processo deixou irregularidades sobre a comporta, a sua regularização foi feita com a aplicação da massa plástica Iberê, com cuidadoso lixamento. Terminado isto as comportas foram pintadas para melhor visualização no modelo como um todo. Elas serão instaladas nos pilares, através de eixos horizontais e verticais.

A bacia de dissipação do modelo tridimensional, construída de uma soleira dentada, foi moldada em madeira mole, de acordo com as formas e dimensões estabelecidas em plantas de detalhes, fornecidas pela CHESF, e transformadas para a escala do modelo. Dado o diminuto tamanho destes dissipadores a dificuldade de se chegar a forma prevista foi evidente. Contudo com boa aproximação, sendo devidamente lixadas depois de uma aplicação de massa plástica Iberê, foi feita a análise da forma de todo o conjunto de dissipadores e não cada um destes individualmente possibilitando assim uma maior facilidade para a execução do projeto.

4 - 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.

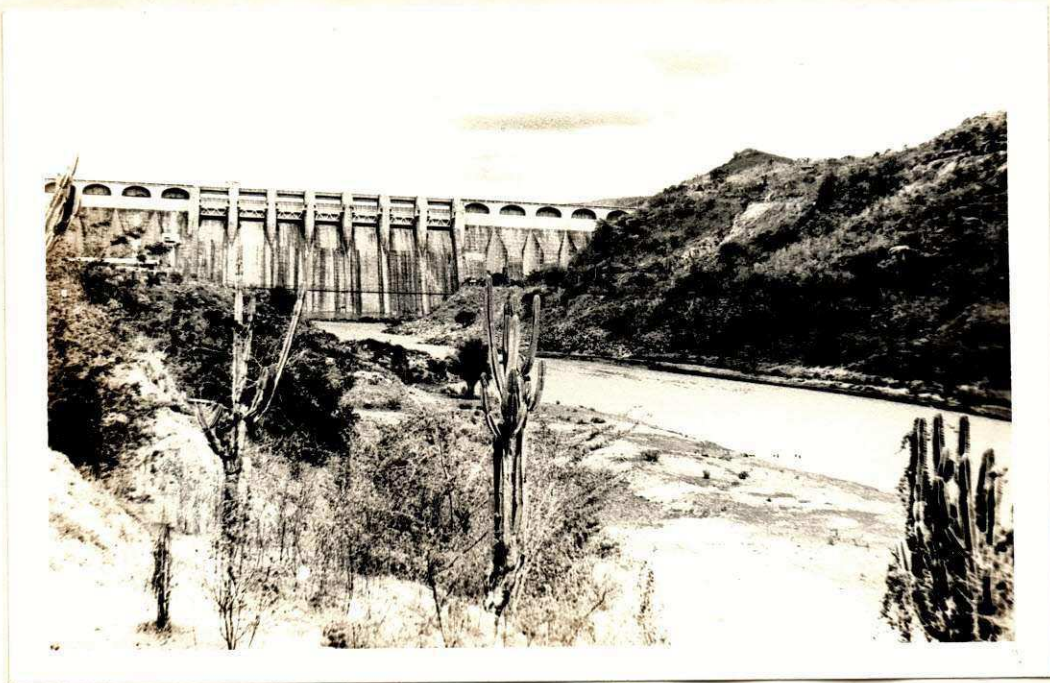
Esse novo evento hidráulico, exigiu a coleta de novos dados da calha do rio à jusante da barragem, o que está sendo feito atualmente.

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 Civil, Hidráulica, bem como, proporcionou a aprendizagem de técnicas de modelo reduzido, um campo pioneiro no norte e nordeste do Brasil.

5 - BIBLIOGRAFIA

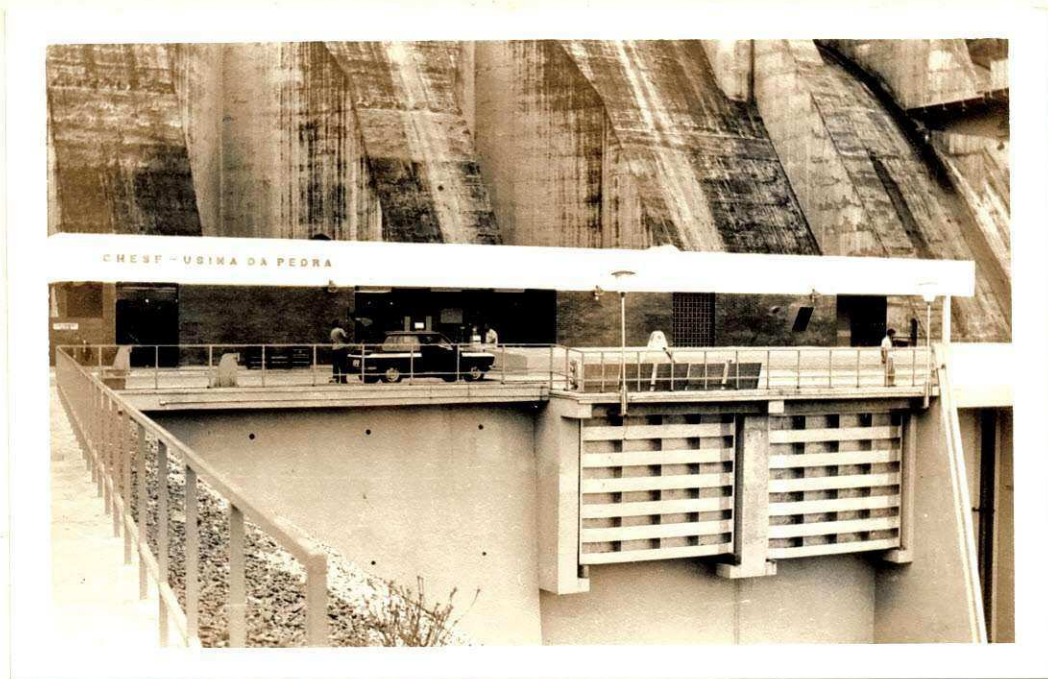
- 1 - AZEVEDO NETO
Manual de Hidráulica
- 2 - VICTOR L. STREET
Mecanica dos Fluidos
- 3 - VEN TE CHOW
Open-Channel Hydraulis
- 4 - DAVIS
Handbook of Applid Hydraulis
- 5 - RANALD V. GILES
Mecania dos Fluidos e Hidráulica



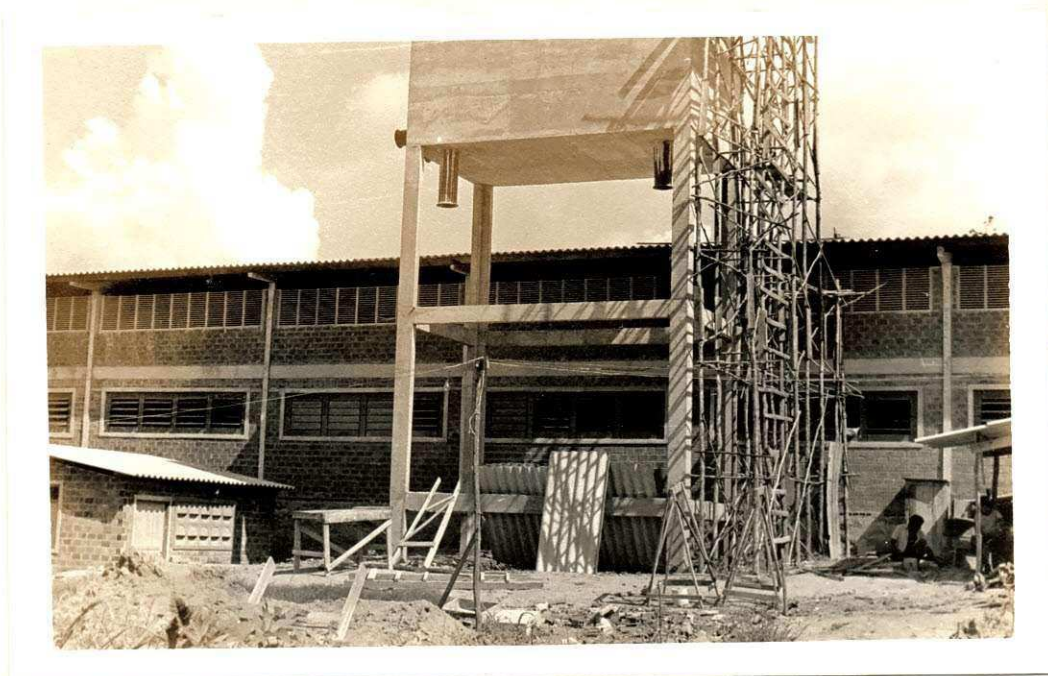
1 - Barragem da Pedra - Vista de
Jusante



2 - Barragem da Pedra - Vertedores
e Usina



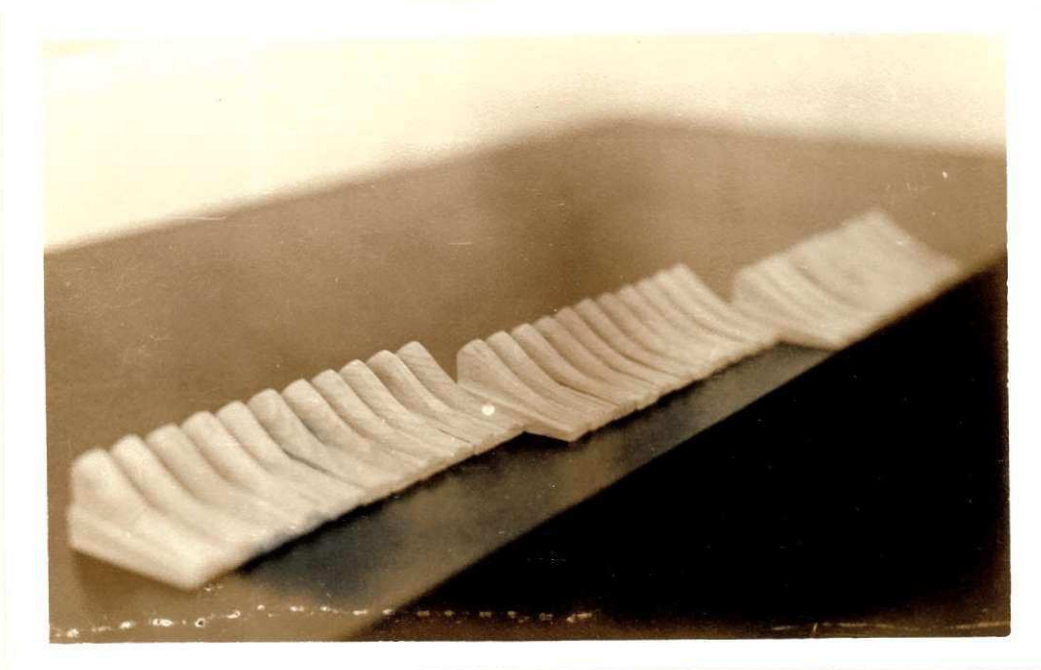
3 - Barragem da Pedra - Vista da
Usina



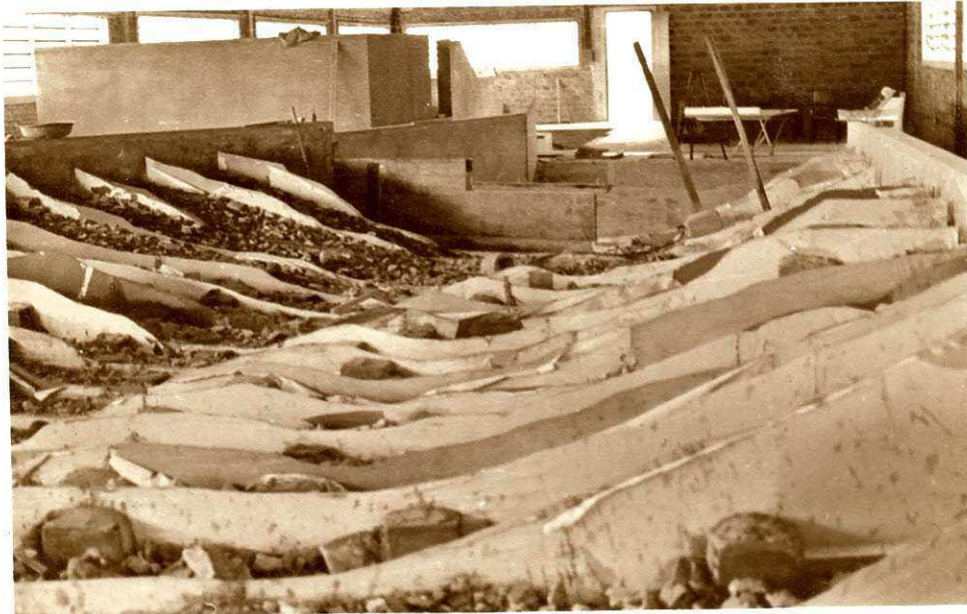
4 - Modelos da Barragem da Pedra -
Sistema de Alimentação



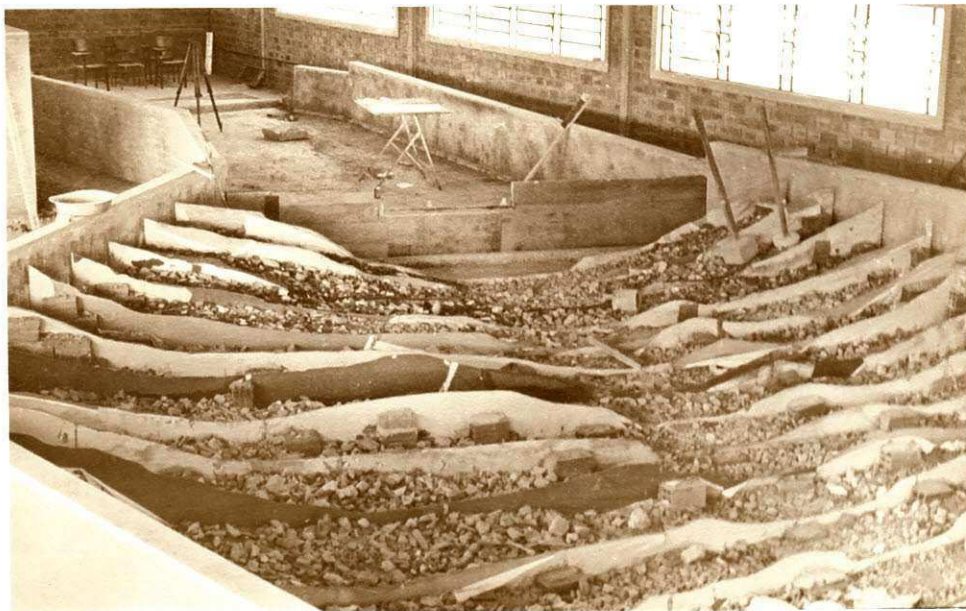
5 - Modelo Bidimensional - Extravasador
de Superfície



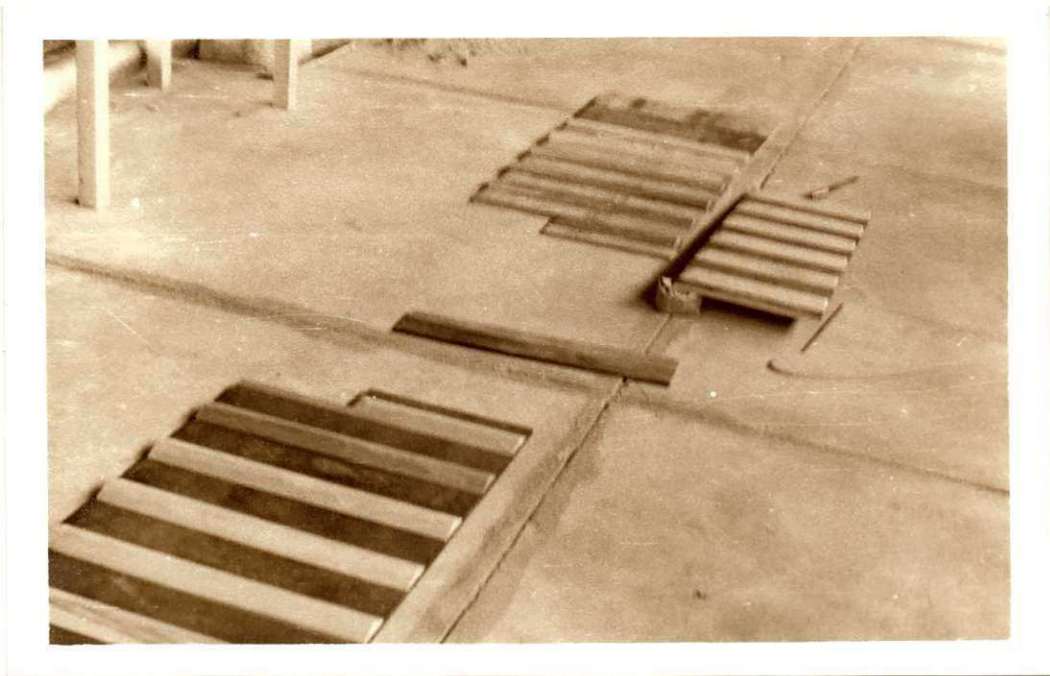
6 - Modelo Bidimensional - Dentes da
Soleira de Dissipação



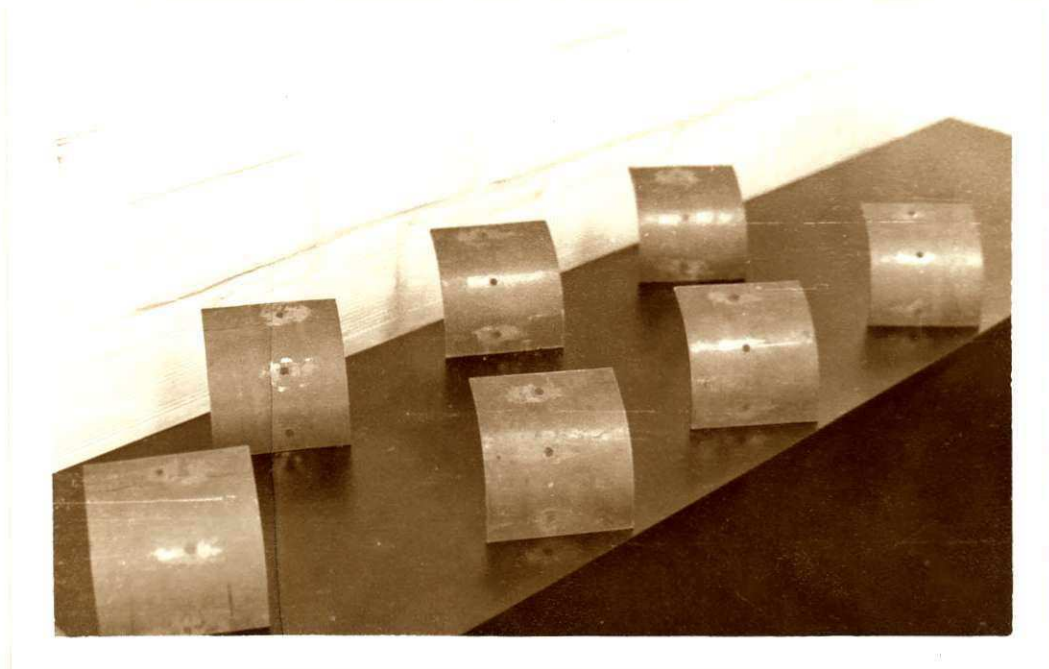
7 - Modelo Tridimensional - Perfis
Montados



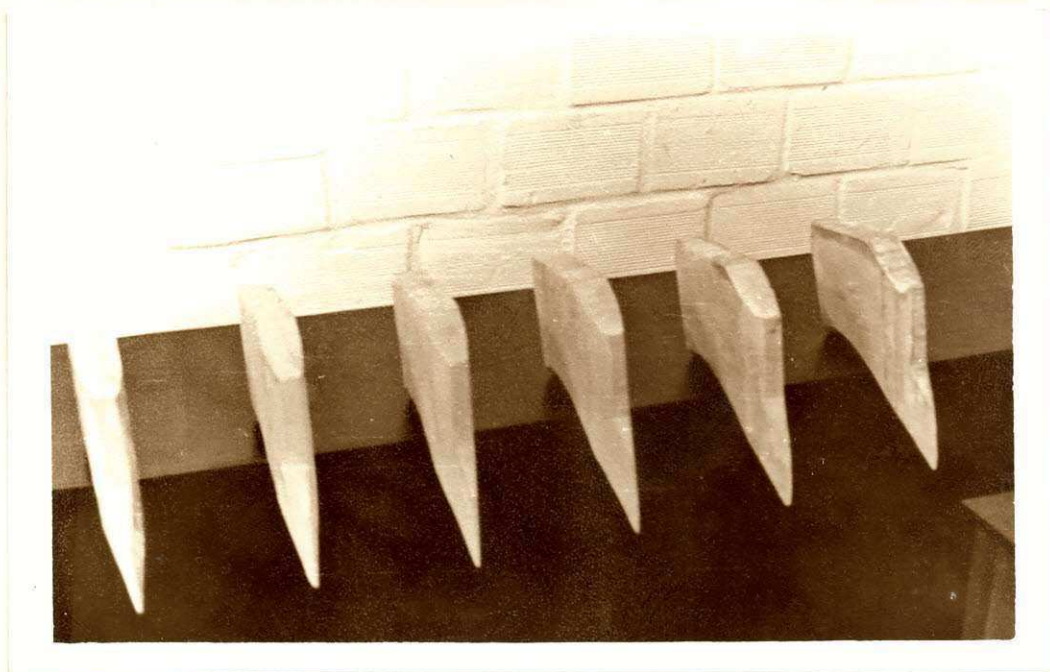
8 - Modelo Tridimensional - Vista
Geral



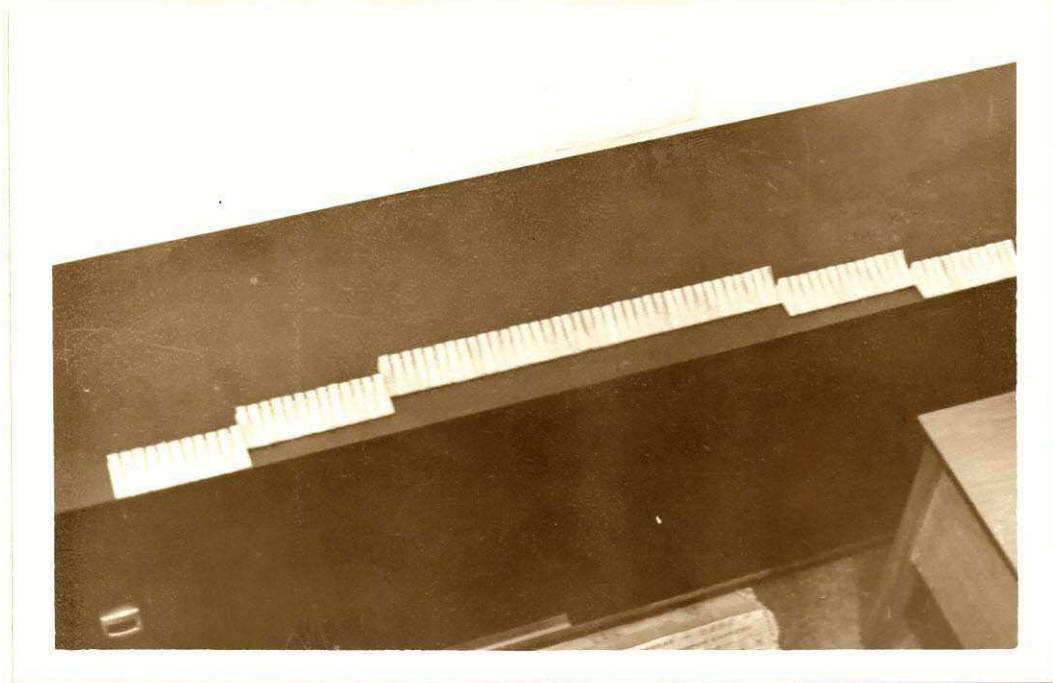
9 - Modelo Tridimensional - Fôrma
da Barragem



10 - Modelo Tridimensional - Comportas
de Setor



11 - Modelo Tridimensional - Pilares



12 - Modelo Tridimensional - Dentes
da Soleira de Dissipação