



# UFPB

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
CAMPUS - CAMPINA GRANDE

RELATÓRIO DE ESTÁGIO  
SUPERVISIONADO

ESTAGIÁRIA : MARIA APARECIDA DE ARAÚJO  
Inscrição - 7521127 - X



Biblioteca Setorial do CDSA. Agosto de 2021.

Sumé - PB

## 1. INTRODUÇÃO

Cumprindo contrato assinado entre a Associação Técnica e Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior - ATECEL e a Companhia Hidroelétrica do São Francisco - CHESF, se desenvolve 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., e que tem como data de conclusão, 25 de maio de 1980.

A Barragem da Pedra construída no Rio das Contas, está localizada à 20 Km à montante de Jequié. Seu reservatório tem uma capacidade de armazenamento de  $1700 \times 10^6$  correspondente à cota 228,30 metros .

Nesta cota o reservatório tem 72 Km de extensão, abrangendo uma área de 10 milhões de metros quadrados. Ela tem como finalidade principal a geração de energia elétrica.

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

Sua bacia hidrográfica é da ordem de 53 mil Km<sup>2</sup> dos quais três quartas partes se acham situadas no polígono das secas, com 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 quatro mil m<sup>3</sup>/s. Durante a estiagem registrou-se carga nula.

Este relatório corresponde às atividades desenvolvidas, como estágio supervisionado, no referido trabalho, durante o período de 25.10.79 a 25.12.79.

## 2. OBJETIVO DO ESTUDO

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

- Determinação em modelo reduzido 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. (5000 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 quando:

- Aproximação
- Pressões negativas
- Descolamentos
- Erosão
- Salto.

### 3. METODOLOGIA

Desde que alguns parâmetros exigem uma maior precisão para a sua determinação, estão sendo construídos em um galpão do laboratório de Hidráulica, de 400 m<sup>2</sup> de área, dois modelos hidráulicos: um Bidimensional na escala 1:50 e outro Tridimensional na escala 1:100.

#### 3.1. O MODELO BIDIMENSIONAL

Para os parâmetros que necessitam de uma precisão mais acentuada das medidas, foi construído um modelo bidimensional na escala 1:50, envolvendo

a reprodução de um vão completo e duas metades do extravador de superfície.

Neste modelo estudamos os seguintes parâmetros:

- Determinação das curvas cota/abertura/vazão do sistema extravador de superfície.

- Comportamento da lâmina d'água no extravador de superfície quanto:

- Pressões negativas
- Descolamentos
- Saltos
- Padrão de erosão no leito do rio, após a bacia de dissipação.

Considerando que o escoamento se processa à superfície livre, a semelhança de Froude é a 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:

a) Velocidades.....Vp = 7,092 Vm

b) Pressões.....Pp = 50,000 Pm

c) Tempos.....Tp = 7,092 Tm

d) Vazões.....Qp = 17.677,670 Qm

Qm (vazão por unidade de largura), 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 l/s (para os dois vãos do extravador).



sor de superfície).

O modelo bidimensional está sendo construído em um canal de alvenaria de tijolo comum com revestimento apropriado de material impermeabilizante (SIKA), com 12 m de comprimento, 0,68 de largura e 1,90 m de altura. No trecho do canal em está se instalando o modelo, será colocada uma lâmina de vidro para visualização do fluxo. Está sendo construída uma bacia de tranquilização na entrada do canal.

A alimentação do modelo se fará por um sistema de recirculação, constituído de um reservatório inferior, sistema de bombeamento, reservatório superior do nível constante e canais de recirculação. Esta alimentação será feita por uma tubulação de ferro' fundido de 350 mm de diâmetro, dotada de um registro de gaveta para controle da vazão.

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

Ao longo da soleira do vão central do extravador de superfície no modelo bidimensional, serão adaptadas tomadas de pressão, em tubos de cobre, os quais serão ligados por mangueiras a um multimanômetro instalado na parede do canal.

Os principais equipamentos a serem utilizados nos ensaios previstos no modelo bidimensional constarão de:

- Micromolinete (para as medições de velocidades)
- Multimanômetros, (para as medições de pressões)
- Pontas Linimétricas, (para a leitura de níveis d'agua).

### 3.2. O MODELO TRIDIMENSIONAL

Este modelo envolve os aspectos gerais da Barragem da Pedra e obras acessórias, além da reprodução da topografia à montante e à jusante, correspondente a um trecho de 2 Km do vale do rio das Contas ocupando uma área de aproximadamente 300 km<sup>2</sup>.

Neste modelo estudaremos os seguintes parâmetros:

- Determinação das curvas de cota/abertura/vazão para o descarregador de fundo.

- Determinação da "Lei de Manobra" das comportas do extravasor de superfície normais de operações e em possibilidade de ocorrência de cheias Máx. Máx (5000 m<sup>3</sup>/s) e Máx. excepcional (10000 m<sup>3</sup>/s)

- Estudo da lâmina d'agua no extravasor de superfície quanto:

- a) Aproximação

b) Descolamento

c) Salto

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

a) Velocidades.....  $V_p = 10 V_m$ ;

b) Pressões.....  $P_p = 100 P_m$ ;

c) Tempos.....  $T_p = 10 T_m$ ;

d) Vazões.....  $Q_p = 100000 Q_m$ ,

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

Para a vazão Máx, excepcional no protótipo ( $10000 \text{ m}^3/\text{s}$ ), escoará no modelo uma vazão de 100 l/s.

O modelo será lançado sobre uma laje de concreto armado de 7 cm de espessura com ferragem mínima, para evitar possíveis recalques com consequentes fugas d'água, a locação será de acordo com as coordenadas mostradas no desenho nº 04/79. O contorno do modelo será feito por paredes de alvenaria de tijolo.

Para a reprodução da topografia serão tomados perfis normais ao eixo do rio com uma distância aproximada de 50 metros entre eles. Esses perfis serão executados em eucatex e depois de nivelados, terão o espaço entre eles preenchido com metralha devidamente compactada, sendo que, a camada de acabamento será feita com argmassa de cimento e areia.

Os detalhes que não influenciam nas características do escoamento não serão reproduzidos na construção da barragem, pois não serão estudados esforços na mesma.

Na entrada do modelo se construírá uma bacia de tranquilização dotada de uma soleira expêssa com a finalidade de se obter uma distribuição uniforme da lâmina na secção inicial.

Para o contrôle do nível d'agua de jusante será instalada na secção final do modelo uma comporta.

A alimentação do modelo será feita pelo reservatório de nível constante através de uma tubulação de ferro fundido de 300 mm de diâmetro, independente daquela que alimentará o modelo bidimensional, para evitar oscilações nas vazões durante a operação conjunta dos modelos.

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

As medições de velocidade e nível d'agua serão feitas respectivamente por micromolinetes e pontas linimétricas.

Na locação do modelo e instalação dos perfis se utilizarão instrumentos de topografia.

#### 4. ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

O trabalho foi iniciado com uma pesquisa bibliográfica, para uma melhor identificação com a tecnologia empregada nos estudos em modelos reduzidos no mundo, bem como, para o entendimento dos parâmetros que envolvem os vários fenômenos a serem reproduzidos nos modelos reduzidos da Barragem da Pedra.

A partir de dados solicitados à CHESF para o desenvolvimento do trabalho, foram então copiados respectivamente nas escalas 1:50 e 1:100 correspondentes aos modelos bidimensional e tridimensional todos os desenhos necessários à confecção das peças a serem reproduzidas para a construção dos modelos.

Conhecidas as vazões máximas e serem re-  
produzidas nos modelos, foi feito o dimensionamento do  
sistema de alimentação dos mesmos, constando de um  
reservatório inferior, sistema de bombeamento, reser-  
vatório superior e canais de recirculação.

Considerando os fenômenos de aproximação  
de fluxo, para o modelo tridimensional, foram prepara-  
dos perfis espaçados de 50 m envolvendo 2 Km do Rio  
das Contas, para o lançamento do canal no qual será re-  
produzido o modelo tridimensional foi contruída uma  
lage de concreto armado com ferragem mínima e de 7 cm  
de espessura com dimensões compatíveis com o modelo.

Na lage do piso do laboratório de hidráu-  
lica foi feita a locação do canal de recirculação e  
do canal onde foi lançado o modelo bidimensional, con-  
forme a planta de locação, desenho 03/79, logo após  
foi iniciada a escavação da lage para execução do ca-  
nal de recirculação nas dimensões correspondentes ao  
dimensionamento.

Foi feita uma consolidação do terreno, a  
través do apiolamento de camadas e lançamento de uma  
camada de 20 cm de metralha devidamente molhada e com-  
pactada para evitar possíveis recalques e consequentes  
fugas d'agua

O canal foi executado em alvenaria de ti-  
jolo maciço, para o mesmo foi executado um reservató-  
rio de tranquilização no qual na entrada do canal foi

dadá um formato curvo tanto na horizontal como na ver  
tical para evitar corrente dirigidas.

No meio do reservatório de tranquiliza-  
ção que alimenta o canal foi levantada uma parede em  
alvenaria de tijolo furados para melhorar as condições  
de tranquilização do fluxo d'água de descarga da cu  
ba, onde será instalado o vertedor retangular para me  
dição da vazão no canal.

Para o revestimento do canal foi usado o  
mesmo traço indicado para o canal de recirculação.

Para execução do modelo bidimensional fo-  
ram confeccionados plantas de fôrma para o perfil ver  
tente, sistema de dissipação e pilares, desenho nº  
05/79.

O perfil vertente foi moldado em concre-  
tos fôrmas para o molde foram feitas em aglomerado e  
lâminas de alumínio.

Foram dimensionadas 13 (treze) tomadas'  
de pressão ao longo do perfil vertente, ligadas a um  
multimanômetro localizado na parede do canal, para de  
terminação das pressões.

Para o sistema de dissipação foram feitas  
moldes de madeiras dos blocos, sendo nestes dados as  
formas e dimensões correspondentes ao modelo.

Em seguida foram executados as peças em  
cimento, dando acabamento com lixa e massa plástica  
para se obter as dimensões e forma em escala

Os pilares foram executados em madeira resistente à água, do tipo Sucupira, em seguida foi dado o acabamento em massa Iberê, para se obter uma superfície lisa e sem nenhuma rasura.

Foram dimensionadas 12 (doze) tomadas de pressão para observação do comportamento do fluxo na entrada do vertedor.

O modelo tridimensional, foi dimensionado de acordo com a planta nº 04/79.

Para reprodução topográfica deste modelo foram confeccionadas perfis na escala do modelo de 20 em 50 metros, sendo os mesmos cortados em folhas de duratex com 5 mm de espessura de acordo com o desenho.

Para a construção do tridimensional foi executado sobre a laje do piso do laboratório, uma laje de concreto armado de 7 cm de espessura com armadura mínima de 3,5 mm e comprimento compatíveis. Isto foi feito para evitar possíveis recalques e consequentes fugas d'água uma vez que o peso é considerável e não se tem confiança quanto a resistência do aterro executado quando na construção do galpão.

O modelo tridimensional foi locado sobre a laje acima descrita conforme a planta nº 03/79 utilizando instrumentos topográficos.



## 5. CONCLUSÃO

Este relatório pelo curto período que representou o estágio somente contém a parte de coletas de dados e preparação dos elementos para a construção dos dois modelos da Barragem da Pedra, e infraestrutura para operação dos mesmos.

Como a fase de operação do modelo corresponde a última etapa do trabalho, nenhum resultado pode ser aqui discutido ou analisado.

Apesar disso o estágio se tornou importante, pelas características que tem, de um trabalho pioneiro na região, além de ter proporcionado o

aprendizado de técnicas de engenharia aplicada aos  
modêlos reduzidos.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- 1 - Handbook of Applied Hydraulics  
Davis - Sorensen - McGraw - Hill
- 2 - Hydraulic Design of Stilling  
Basins and Energy Dissipators-  
Bureau of Reclamation
- 3 - Model Studies of Imperial Dam-  
Bureau of Reclamation
- 4 - Relatórios de Trabalhos em Modelos  
Reduzidos - do Centro Tecnológico de  
Hidráulica - USP - S. PAULO.

5 - Manual de Hidráulica

J. M. Azevedo Neto

6 - Curso de Hidráulica

Eurico Trindade Neves

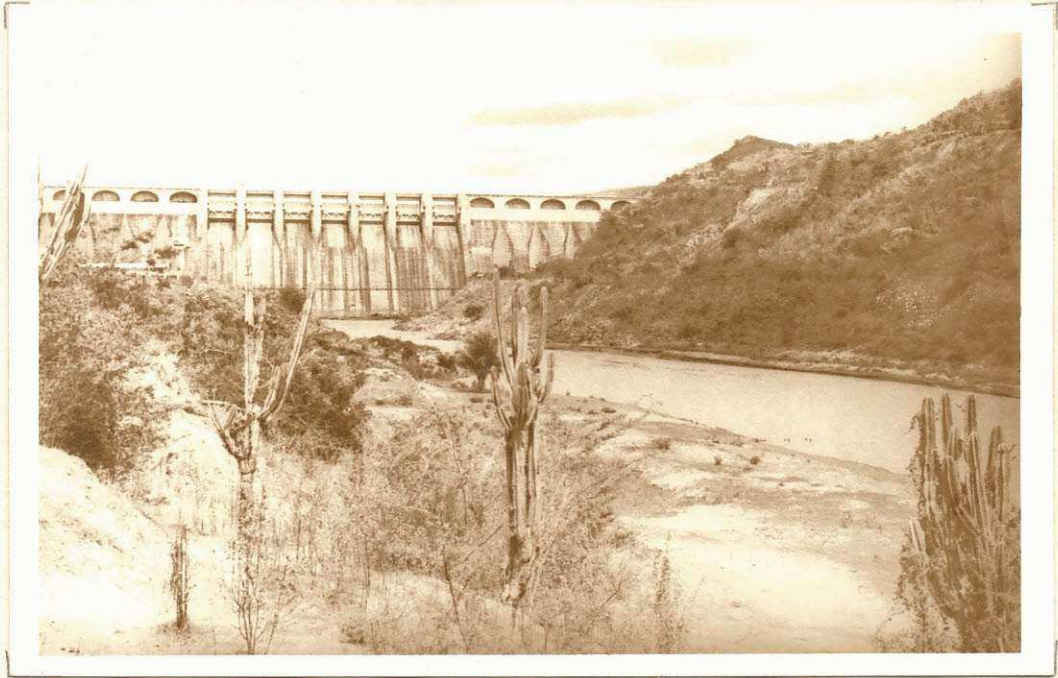
7 - Manual de Hidráulica

Armando Lancaestre

Campina Grande, 28 de dezembro de 1979

*Maria Aparecida de Araújo*  
MARIA APARECIDA DE ARAÚJO

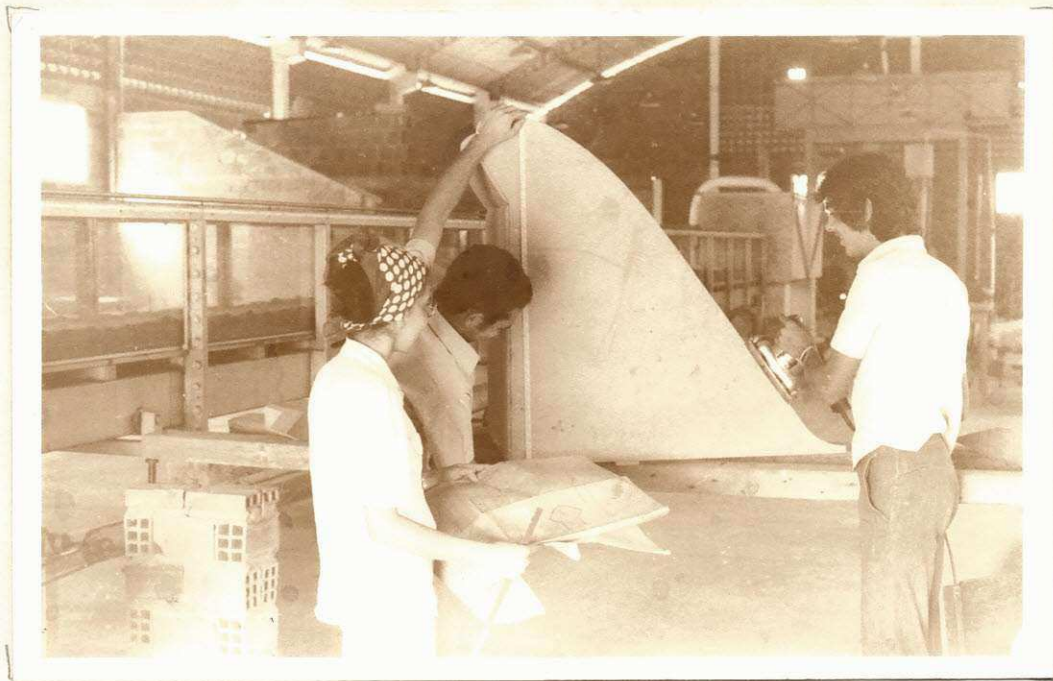
- estagiária -



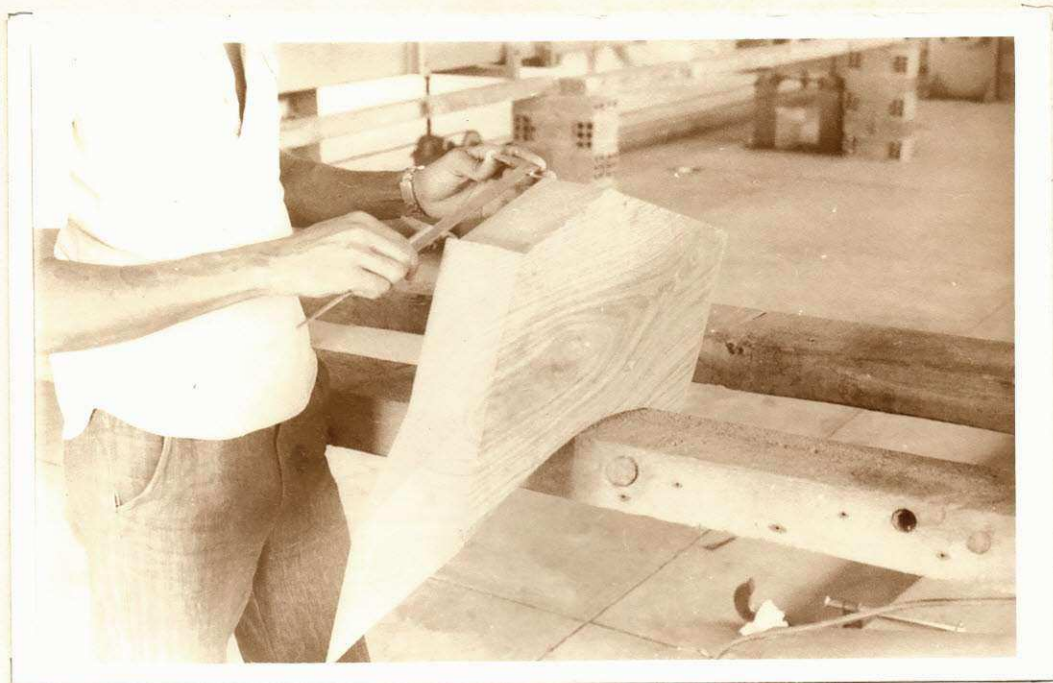
Barragem da Pedra



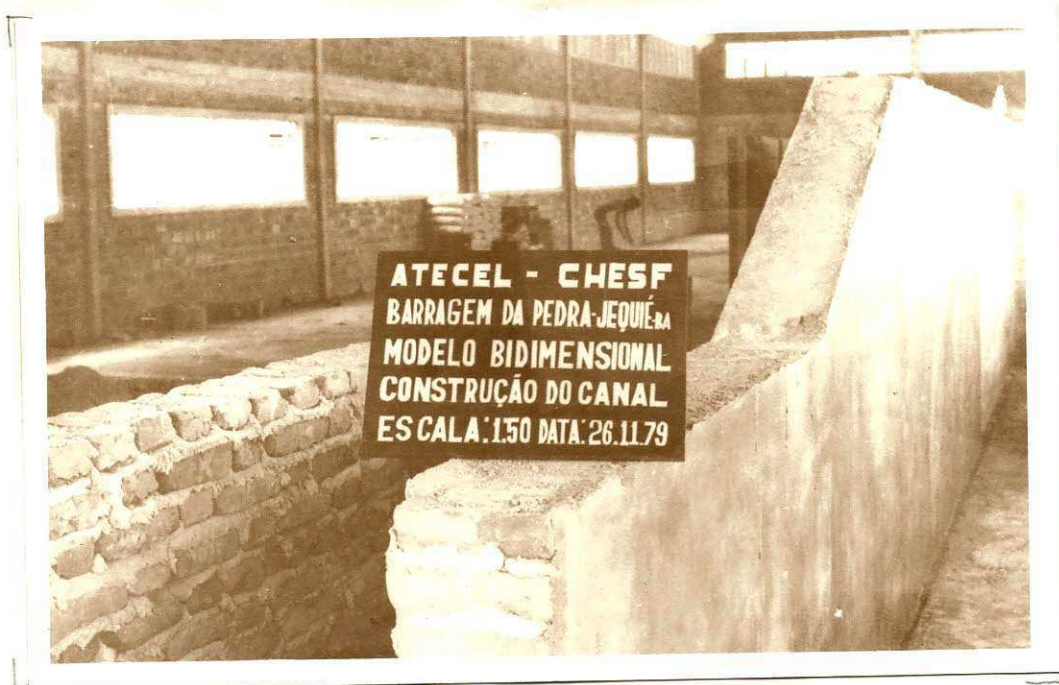
Barragem da Pedra - Vertedores e Usina



Modêlo Bidimensional - Moldagem dos Vertedores  
de Superfície



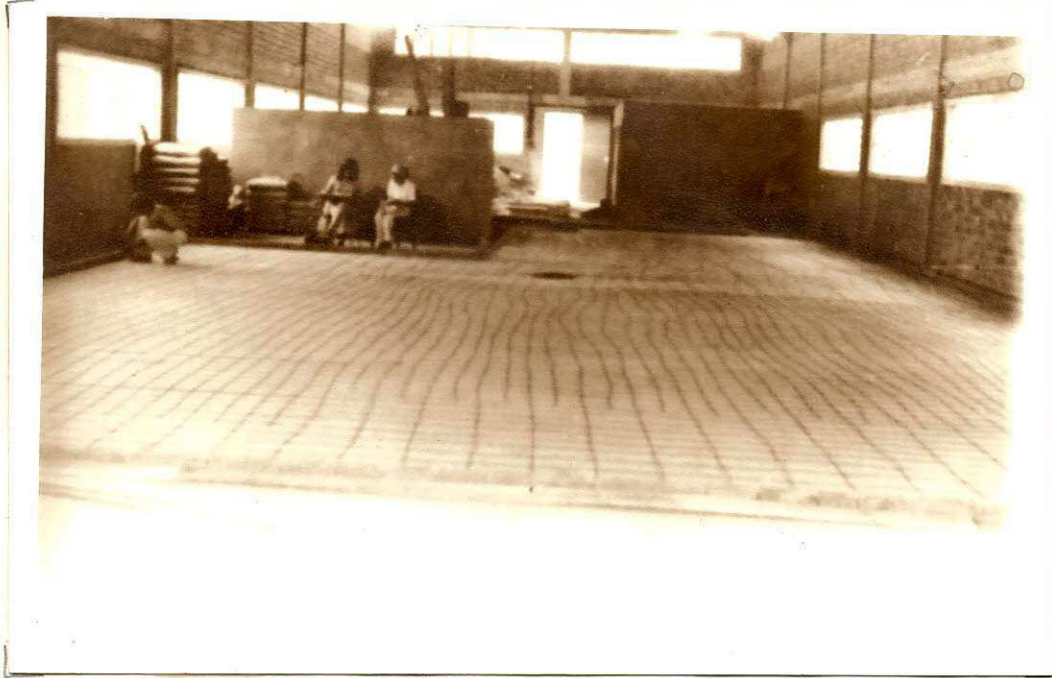
Modêlo Bidimensional - Confeção de Pilares



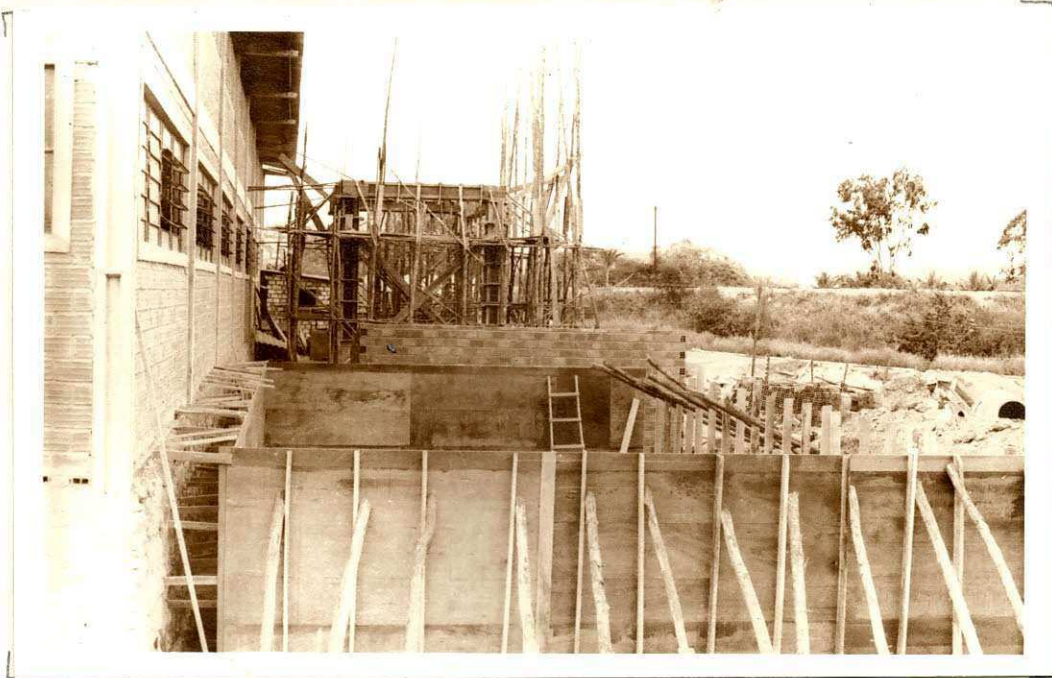
Modêlo Bidimensional



Modêlo Bidimensional - Construção do Canal



Modêlo Tridimensional - Armadura da Laje



Reservatório Superior e Inferior e Casa de  
Bombas