

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

ESTÁGIO SUPERVISIONADO

"ESTUDO EM MODELO REDUZIDO DA  
BARRAGEM DA PEDRA-JEQUIÉ-Ba".

SUPERVISOR: Manoel Gilberto de Barros

ALUNA: Rosa Dias Hernández

CAMPINA GRANDE - Pb

ABRIL - 1982



Biblioteca Setorial do CDSA. Novembro de 2021.

Sumé - PB

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal da Paraíba, através do Departamento de Engenharia Civil do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, por ter oferecido oportunidade para a aplicação dos conhecimentos adquiridos no curso de Engenharia;

À Companhia Hidroelétrica do São Francisco CHESF - e à Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior - ATECEL - que através do contrato entre eles celebrado, proporcionaram condições financeiras para a realização deste estudo;

Ao Supervisor Manuel Gilberto de Barros, pela orientação prestada nas diversas fases deste estágio;

Aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste estágio.

"ESTUDO EM MODELO REDUZIDO DA BARRAGEM DA  
PEDRA - JEQUIÉ - BAHIA"

## A P R E S E N T A Ç Ã O

Este relatório se refere as atividades de de se nv olvidas no Laboratório de Modelos Reduzidos do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em Campina Grande - Pb, e fazem parte do estágio su p ervisionado realizado no período de Junho de 81 a Março de 82.

O estágio foi realizado nos modelos reduzi dos da Barragem da Pedra - Jequié - Ba, que estão sendo con stru idos para que sejam definidas Leis de Operação pa ra aquela Barragem.

Os trabalhos de construção e operação fazem parte do contrato ATECEL/CHESF-CT-E-226.330 e têm o térmi no previsto para Julho de 1982.

Apesar da programação definida para o está gio constar a operação dos modelos da Barragem da Pedra, as atividades do mesmo se resumem à parte construtiva, pois em virtude da ocorrência de uma cheia excepcional ( $2.600 \text{ m}^3/\text{s}$ ), o trabalho esteve paralizado durante 14 meses, quan do então foi efetuada uma nova batimetria da calha do rio à jusante da Barragem.

## S U M Á R I O

	Página
1.0 - INTRODUÇÃO	01
2.0 - OBJETIVOS DO ESTUDO EM MODELO REDUZIDO	02
3.0 - OS MODELOS REDUZIDOS DA BARRAGEM DA PEDRA	06
4.0 - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NOS MODELOS	08
4.1 - Modelo Tridimensional	08
4.2 - Modelo Bidimensional	10
5.0 - CONCLUSÃO	13
6.0 - BIBLIOGRAFIA	14
DOCUMENTÁRIO FOTOGRÁFICO	15
ANEXOS	25
ANEXO I : MODELOS BIDIMENSIONAL E TRI DIMENSIONAL . LAY OUT	26
ANEXO II : MODELO TRIDIMENSIONAL	27
ANEXO III : MODELO BIDIMENSIONAL	28
ANEXO IV : MODELO BIDIMENSIONAL	29

## 1.0 - INTRODUÇÃO

O Rio das contas é um dos 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 de 53.000 Km<sup>2</sup>, dos quais três quartas partes encontram-se situadas no "Polígono das Sêcas" detalhe de suma importância, já que o Nordeste é conhecido como a "Região Problema" do país graças ao seu clima. A parte restante atravessa a zona cacaeira.

Com uma extensão de pouco mais de 500 Km, apresenta desde a nascente na Chapada Diamantina até sua foz em Itacarê uma queda de 615 metros.

A Barragem da Pedra foi construída num local denominado Pedra da Santa e está situada no Rio das Contas a 16 Km a montante de Jequié - Ba. Foi construída sobre rocha sã encontrada a aproximadamente 10 metros sob o leito do rio. Esta barragem é do tipo de peso aliviado, construída por monolitos de cabeça de martelo com cavidade interna.

A referida Barragem, possui uma capacidade de armazenamento de  $1.700 \times 10^6 \text{ m}^3$  correspondente à cota 228,30 m. Nesta cota, o reservatório tem 72 Km de extensão, abrangendo uma área de 10 milhões de metros quadrados. Um dos objetivos da construção desta barragem foi regularizar as descargas do referido rio, num local cuja drenagem é de  $37.000 \text{ Km}^2$ , sendo o objetivo principal a geração de energia hidroelétrica.

Duas tomadas para irrigação foram colocadas nas margens do vale a jusante da barragem, sendo estas incorporadas a blocos cuja cota é 196,82 m.

Dois outros blocos que constituem a barragem são atravessados por condutos de aço cujo diâmetro é de 3,1046 m. Um desses condutos serve como descarregador de fundo para esvaziamento do reservatório, enquanto o outro alimenta a usina hidrelétrica.

A barragem possui sete blocos vertedores com características geométricas idênticas aos outros até a cota 200,637 m. Acima desta cota, cada bloco tem a forma mais conveniente para a função vertedora.

Em cada bloco vertedor se apoia uma comporta de setor; já a comporta deslizante com rodetes foi colocada à montante da barragem na entrada de cada tubulação. O comando destas comportas foi localizado na parte mais alta da barragem.

A ligação entre os órgãos de comando e as comportas é constituída por elementos articulados, com comprimento igual ou um pouco inferior ao curso da comporta



ta a fim de poder desmontá-las quando for necessário ele  
var qualquer comporta até o coroamento para reparos.

O dissipador de energia com soleira denta  
da é limitado lateralmente por muros de contenção e está  
em correspondência aos blocos vertentes e imediatamente a  
jusante deles por meio de um arco de círculo de 7,5 m de  
raio.

## 2.0 - OBJETIVOS DO ESTUDO EM MODELO REDUZIDO

A Barragem da Pedra foi construída sem que fosse feito um estudo prévio sobre os parâmetros hidráulicos. Em virtude deste fato, a CHESF através da ATECEL contratou o Laboratório de Hidráulica do Centro de Ciências e Tecnologia para o estudo de todos os parâmetros da referida barragem.

Para o estudo dos parâmetros, foi construído um Laboratório de Modelos Reduzidos cuja área é de aproximadamente  $400 \text{ m}^2$ . Nesta área foram construídos dois modelos: um tridimensional na escala 1:100 que ocupa uma área de  $132 \text{ m}^2$ , onde serão estudados os aspectos gerais da Barragem da Pedra tais como:

- Determinação das curvas de cota/abertura/vazão para os descarregadores de superfície e de fundo;
- Lei de Manobra das compostas do extravasor de superfície em condições normais de operação e em contingências de cheias;
- condição de aproximação

- comportamento do ressalto
- Padrões de erosão

O outro modelo, o bidimensional, foi construído na escala 1:50, envolvendo a reprodução de um vão, e duas metades do extravasor de superfície que será usado para o estudo de parâmetros que exigem maior precisão. Neste modelo serão estudados:

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

### 3.0 - OS MODELOS REDUZIDOS DA BARRAGEM DA PEDRA

Ao mesmo tempo que se iniciou a construção dos modelos bidimensional e tridimensional, foi construído um reservatório inferior e casa de bombas que compõem o sistema de recirculação da água escoada pelos modelos. Esta alimentação será feita por uma tubulação de ferro de 350 mm de diâmetro dotada de registro de gaveta para controle da vazão.

A alimentação do modelo tridimensional será independente da que alimentará o bidimensional para evitar oscilações nas vazões durante a operação conjunta dos modelos.

No piso do Laboratório foi lançada uma laje de concreto armado de 7 cm de espessura para diminuir a possibilidade de fugas d'água durante a operação, depois de nivelada, esta foi totalmente impermeabilizada.

Para o contorno do modelo foram construídas paredes de alvenaria, obedecendo os limites estabelecidos na locação.

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

O modelo tridimensional, construído para um estudo mais geral da barragem, ocupando uma área de  $132 \text{ m}^2$ , envolve a reprodução na escala 1:100 da Barragem da Pedra e órgãos acessórios, bem como trechos à montante e jusante da obra, correspondente a aproximadamente 2 Km do vale do Rio das Contas. A vazão máxima excepcional a ser escoada neste modelo será de 100 l/s o que corresponde a  $10.000 \text{ m}^3/\text{s}$  no protótipo.

A construção deste modelo teve paralização obrigatória devido a cheia de  $2.600 \text{ m}^3/\text{s}$  que ocorreu no Rio das Contas em fevereiro de 1981. Por este motivo, novos dados de batimetria de alguns perfis à montante e todos os perfis de jusante tiveram que ser aguardados.

Já o modelo bidimensional foi construído na escala 1:50, pois concluiu-se ser esta a melhor escala para os parâmetros que serão estudados e espaço disponível no Laboratório; constitui-se de dois vãos do extravasor de superfície, sendo um vão completo e duas metades e encontra-se em fase de acabamento. A vazão máxima deste modelo será de 161,62 l/s.

A água escoada pelos dois modelos citados será conduzida por canais de restituição, para o reservatório inferior.

#### 4.0 - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NOS MODELOS

##### 4.1 - Modelo Tridimensional

A partir de um levantamento topográfico do trecho à montante da Barragem da Pedra, fornecido pela CHESF, foram implantados perfis representativos do Vale do Rio das Contas. A confecção destes perfis constaram das seguintes fases: em primeiro lugar, foram transferidos para o papel milimetrado na escala 1:100 os perfis fornecidos pela CHESF; depois eles foram reproduzidos em compensado de 4mm de espessura; como terceira fase do trabalho, os perfis tiveram na sua colocação, estabelecidas as cotas de vários pontos de secção através de instrumento topográfico, e finalmente, o espaço entre os perfis foi preenchido com metralha, em camadas devidamente compactadas, deixando-se na parte superior aproximadamente 3 cm para a colocação de uma camada de argamassa de cimento para regularização da superfície.

Os perfis de jusante não foram colocados ainda devido ao fato de que dados de nova batimetria rea

lizada estarem sendo aguardados.

Na secção correspondente ao eixo da barragem foi feita a locação da mesma, de acordo com desenhos e cotas fornecidas pela CHESF.

A barragem foi construída em concreto simples, a partir de uma forma contendo todos os detalhes que pudessem proporcionar as condições de semelhança hidrâlica.

Na entrada do modelo, foi construída uma bacia de tranquilização dotada de uma soleira espessa para que se obtenha uma distribuição uniforme da lâmina d'água na secção inicial. Na secção final se instalou-se uma comporta para controle do nível d'água de jusante.

Os pilares deste modelo, são elementos prê-moldados que tiveram as seguintes etapas de trabalho para as suas confecções: em primeiro lugar, foi necessário se fazer um gabarito em madeira, este foi enchido com concreto simples e o acabamento destes elementos foi dado com massa Iberê e lixa de papel com areia aglutinada.

Os blocos de dissipação, foram feitos em madeira, pois, após alguns testes realizados com outros materiais, chegou-se a conclusão que a madeira era o material que dava melhores condições de se trabalhar manualmente, além de ser possível se chegar a medidas muito precisas. Estas medidas foram conferidas com paquímetro, sendo o acabamento feito com massa Iberê e lixa. Após estas etapas, os blocos foram pintados.

As tomadas d'água foram feitas em madeira e tubos PVC. Todos os componentes das tomadas foram feitos separadamente e manualmente. Os pilares e as vigas que fazem parte das tomadas foram feitos de PVC enquanto que nas partes restantes, foi usada madeira. Testes foram feitos para se verificar se todas as peças poderiam ser confeccionadas em madeira mas, chegou-se a conclusão que o melhor material seria o PVC. Todos os componentes foram colocados de maneira tal, que tudo fazia parte de um único conjunto.

Para as comportas, um gabarito de madeira foi feito com a curvatura exigida para estes elementos. Numa chapa de bronze, foi medido o tamanho necessário para cada comporta, sendo 7 o número total para este modelo. Estas peças de bronze, após terem suas medidas conferidas com o paquímetro foram colocadas dentro do gabarito para que fosse dada a curvatura requerida; após esta fase foram colocados os elementos articulados, sendo feito o lixamento e finalmente foi dada a pintura.

#### 4.2 - Modelo Bidimensional

Foi construído em um canal com 12 metros de comprimento, 0,68 metros de largura e 1,90 metros de altura.



Ao longo da soleira do vão central do extravasor de superfície deste modelo foram adaptadas tomadas de pressão em tubos de cobre, as quais serão ligadas por mangueira a um multimanômetro instalado na parede do canal.

No trecho do canal em que está instalado o modelo, será colocado uma lâmina de vidro para visualização do fluxo.

Para os dois pilares deste modelo, foi feito um gabarito em madeira. Este gabarito foi enchido de concreto simples, enquanto que o acabamento foi dado várias vezes com massa Iberê e lixa, até se obter medidas precisas.

Os blocos de dissipação do modelo bidimensional foram confeccionados em madeira, sendo todas as suas medidas conferidas com um paquímetro. Já o acabamento foi dado com Iberê e lixa, até se obter medidas exatas e finalmente foram pintados.

Para as comportas, foi necessário se fazer um gabarito em madeira com a curvatura exigida para que quando a chapa cortada nas dimensões da comporta fosse colocada no gabarito ficasse com a curvatura exigida. Os elementos articulados foram ligados à chapa através de parafusos, sendo dado o acabamento com lixa e finalmente a pintura foi dada.

Os equipamentos a serem utilizados nos ensaios previstos no modelo constarão de: micromolinetes que

será usado para medições de velocidade e pontas linimé  
tricas usada para leitura de nível d'água.

## 5.0 - CONCLUSÃO

De acordo com o plano do estágio estabelecido inicialmente, deveriam ter sido cumpridas atividades de operação dos modelos, mas, devido a ocorrência de uma cheia excepcional no Rio das Contas ( $2.600 \text{ m}^3/\text{s}$ ) a CHESF foi obrigada a efetuar uma nova batimetria da calha do rio à jusante da barragem, provocando a paralização dos trabalhos nos modelos por um período de 14 meses.

Apesar disso o estágio se tornou muito útil pela oportunidade que proporcionou para a aprendizagem de técnicas da Engenharia no campo dos modelos reduzidos.

O trabalho permitiu também a aplicação dos conceitos vistos em disciplinas tais como: Hidrologia, Hidráulica, Topografia, etc.

6.0 - BIBLIOGRAFIA

NETO, J. M. de AZEVEDO. Manual de Hidráulica. 6 Ed.  
São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda, V.I, 1977

NEVES, EURICO TRINDADE. Curso de Hidráulica. 6 Ed.  
Porto Alegre, Editora Globo S.A. 1979

LAJOS, IVICSICS. Hydraulic Models. Research Institute  
For Water Resources Development, Budapest, 1975

CHOW, VEN TE. Open Channel Hydraulics. Editora  
McGraw-Hill Kogakusha, Ltda.

ROLLINS, A. P. Jr. Spillways and Stilling Basins,  
Jackson Dam, Tombigbee River, Alabama; Hydraulic  
Model Investigation. Army Engineer Waterways Ex  
periment Station Vicksburg, Mississippi, 1960

CORPS OF ENGINEERS - U. S. Army Engineer Waterways  
Station. Everett Dam Spillway and Discharge Channel,  
Piscataquog River, New Hampshire. Mississippi, 1960

DOCUMENTÁRIO FOTOGRAFICO

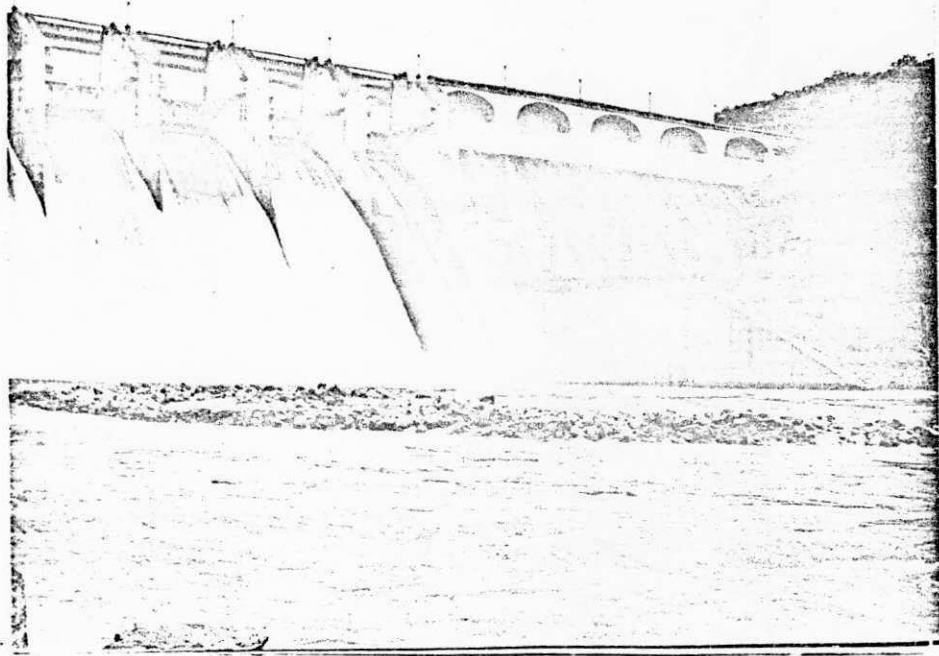


Foto 01 - Barragem da Pedra - Vista de Jusante

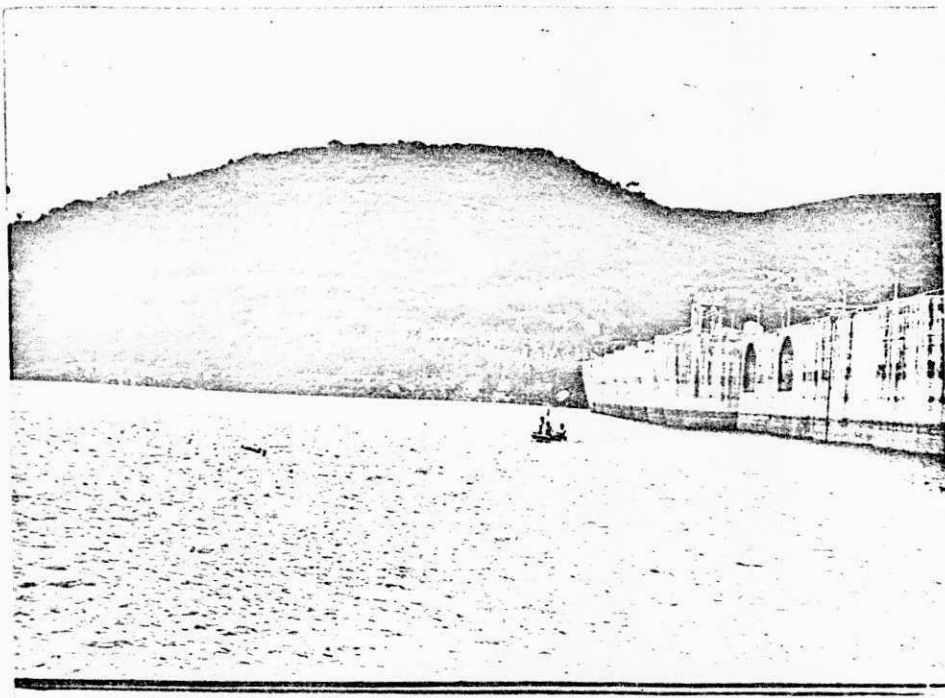


Foto 02 - Barragem da Pedra - Vista de Montante

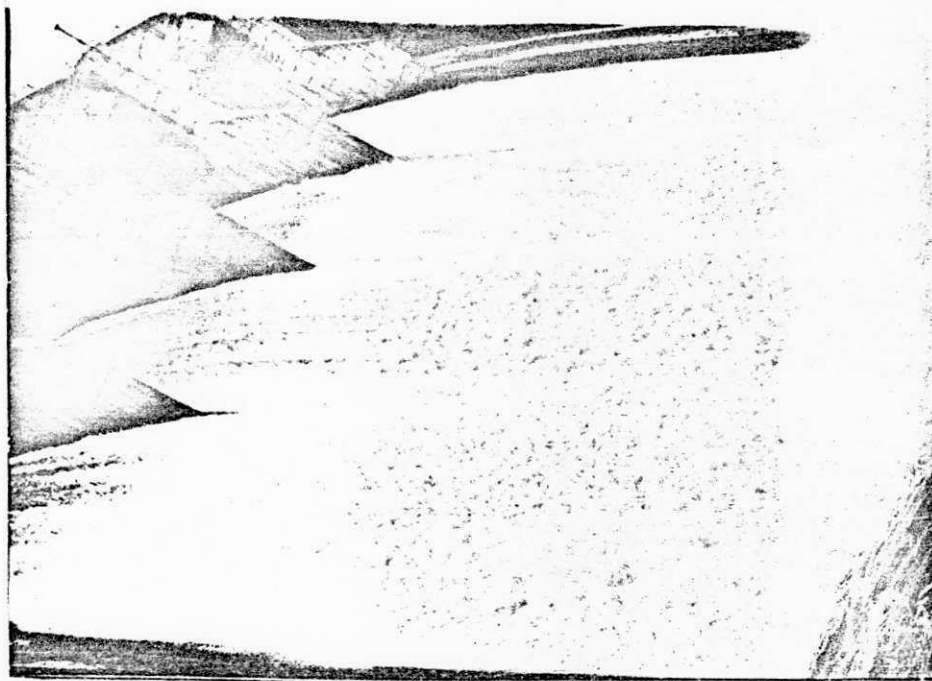


Foto 03 - Barragem da Pedra - Escoamento  
nos Vertedores

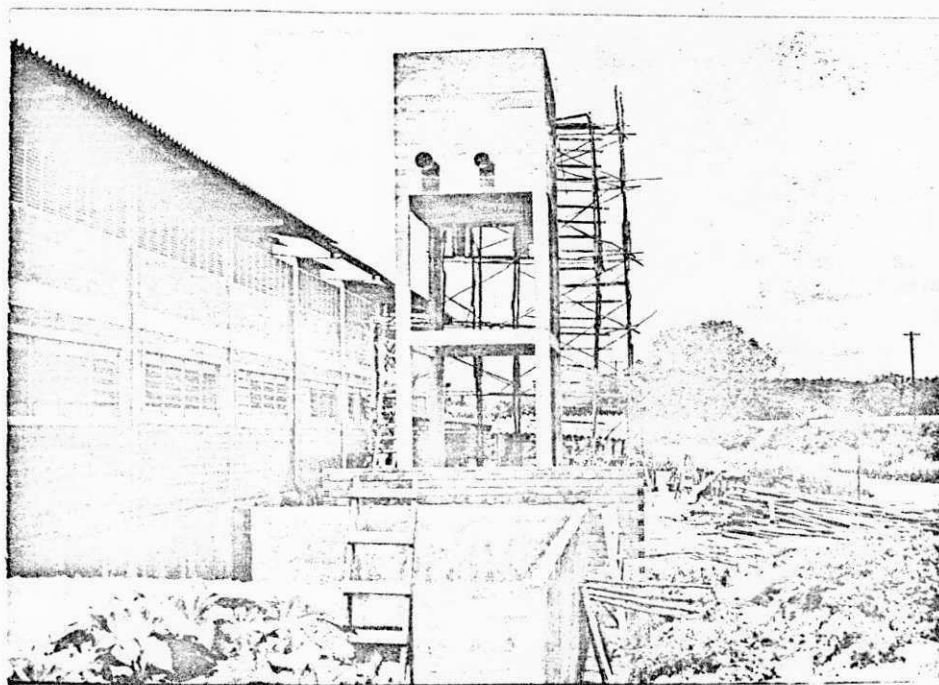


Foto 04 - Modelos da Barragem da Pedra -  
Sistemas de Recirculação

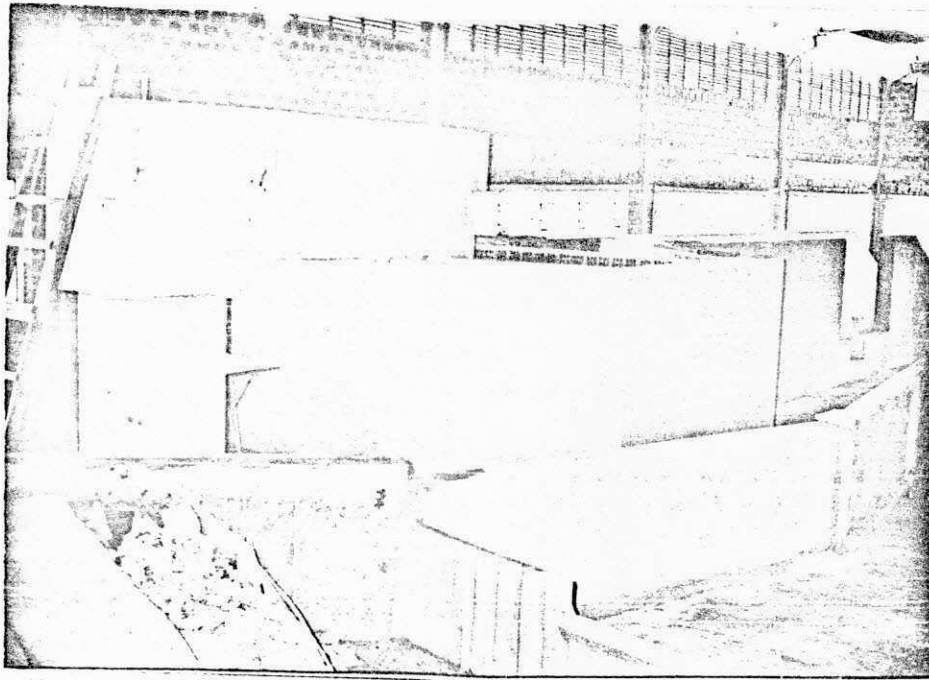


Foto 05 - Modelo Bidimensional - Cuba de  
Medição e Canal

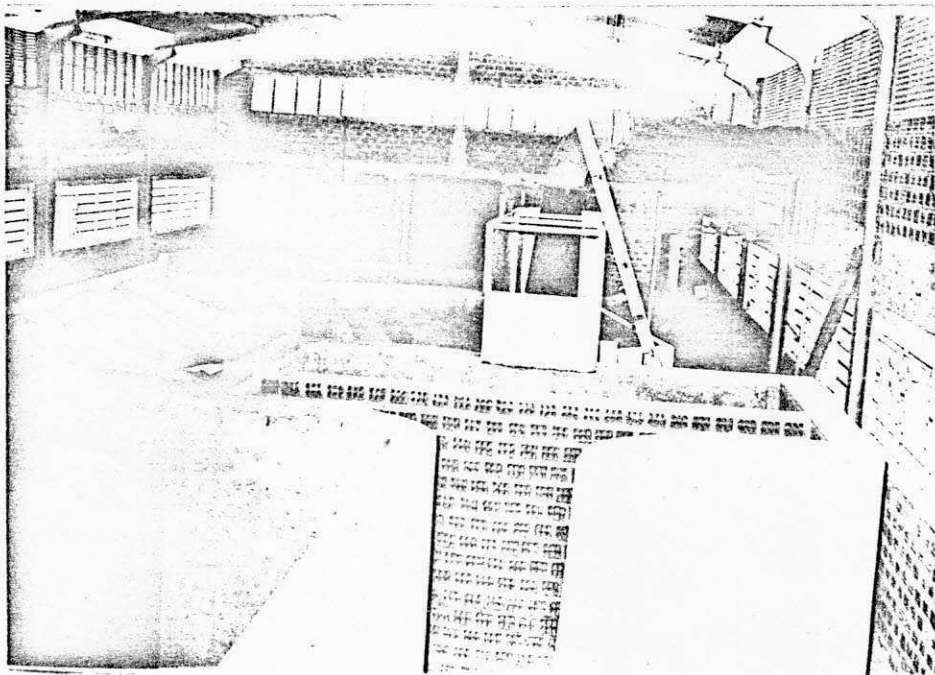


Foto 06 - Modelo Bidimensional - Cuba de  
Medição e entrada do canal



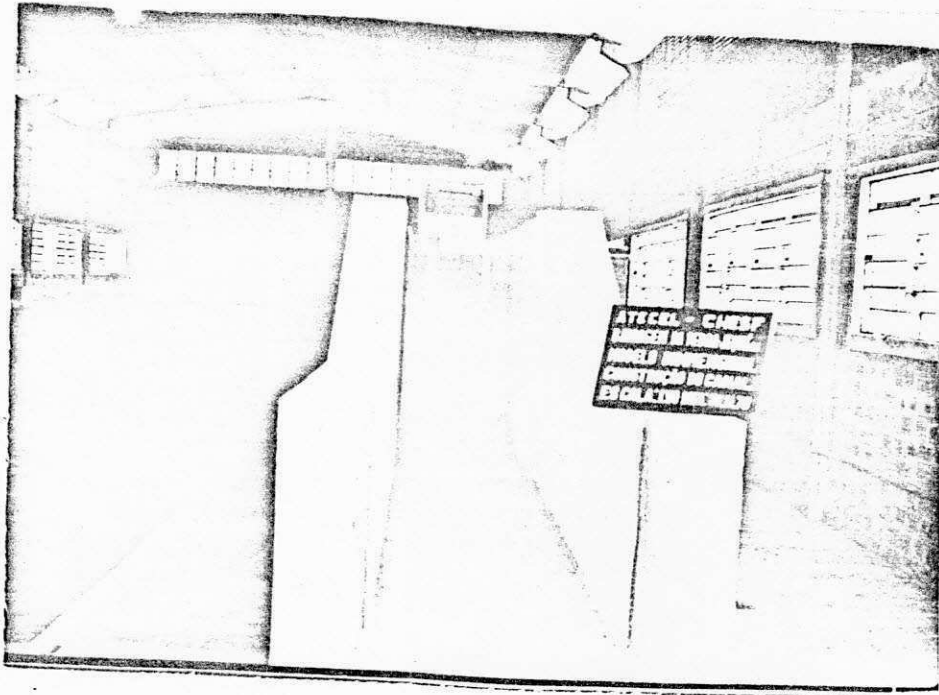


Foto 07 - Modelo Bidimensional - Vista de Jusante

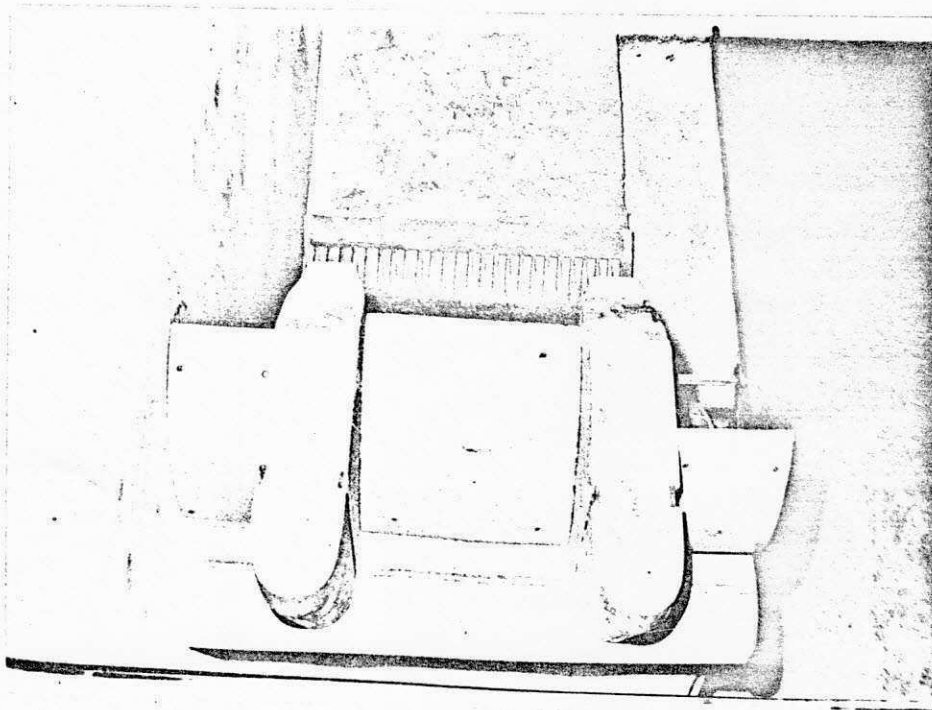


Foto 08 - Modelo Bidimensional - Detalhe de Pilares Comporta e Bacia de Dissipação

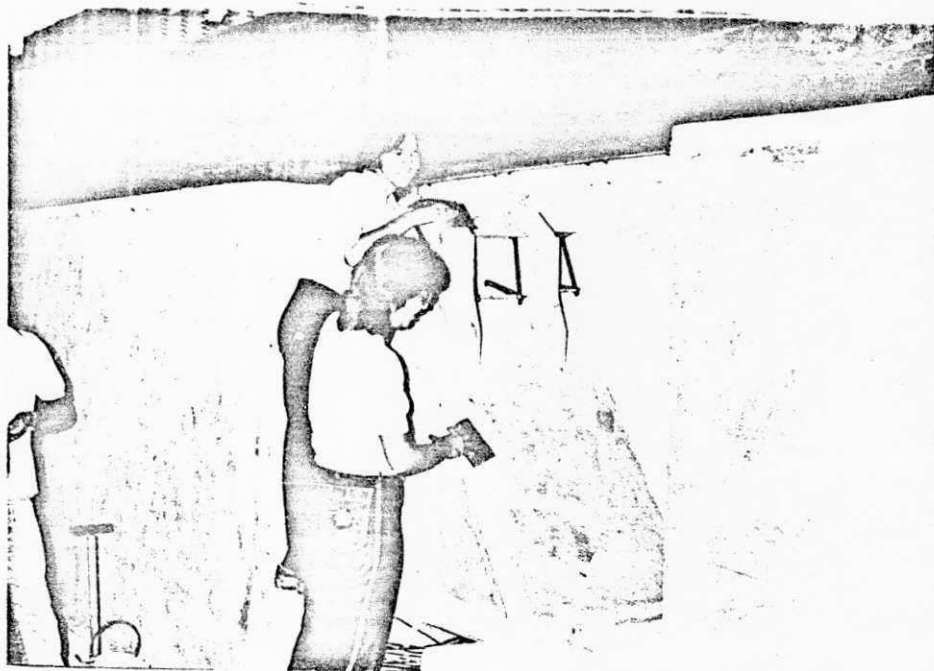


Foto 09 - Modelo Bidimensional - Acabamento  
e montagem de comportas

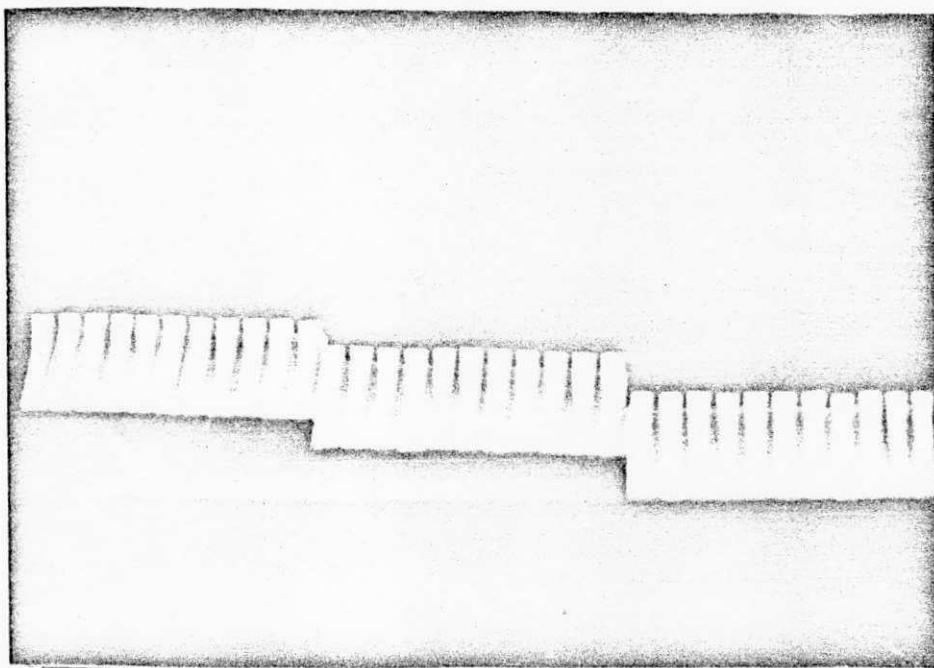


Foto 10 - Modelo Bidimensional - Dentes da  
soleira de dissipação

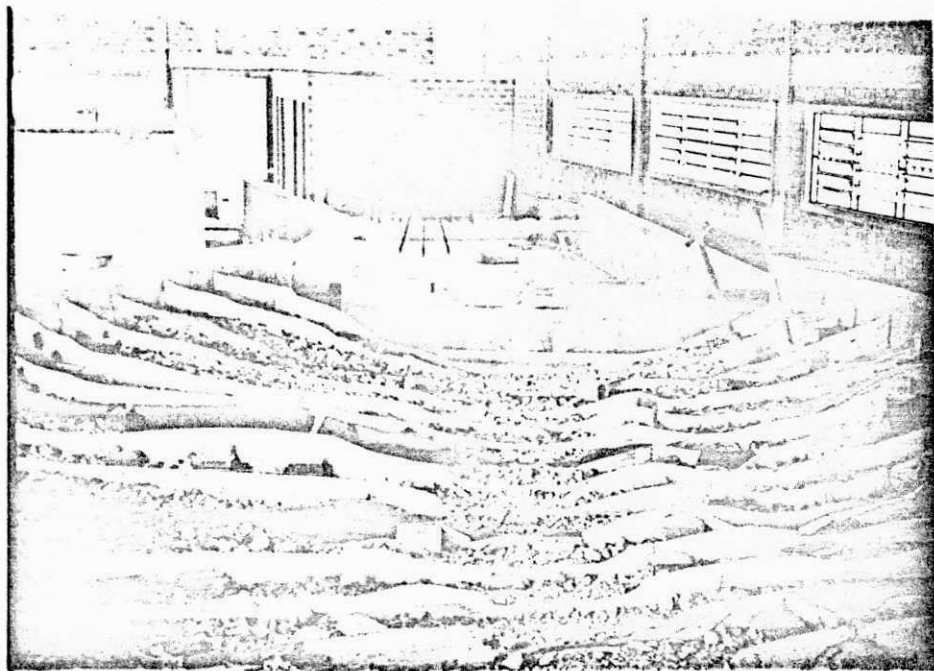


Foto 11 - Modelo Tridimensional - Enclinamento  
dos perfis de montante

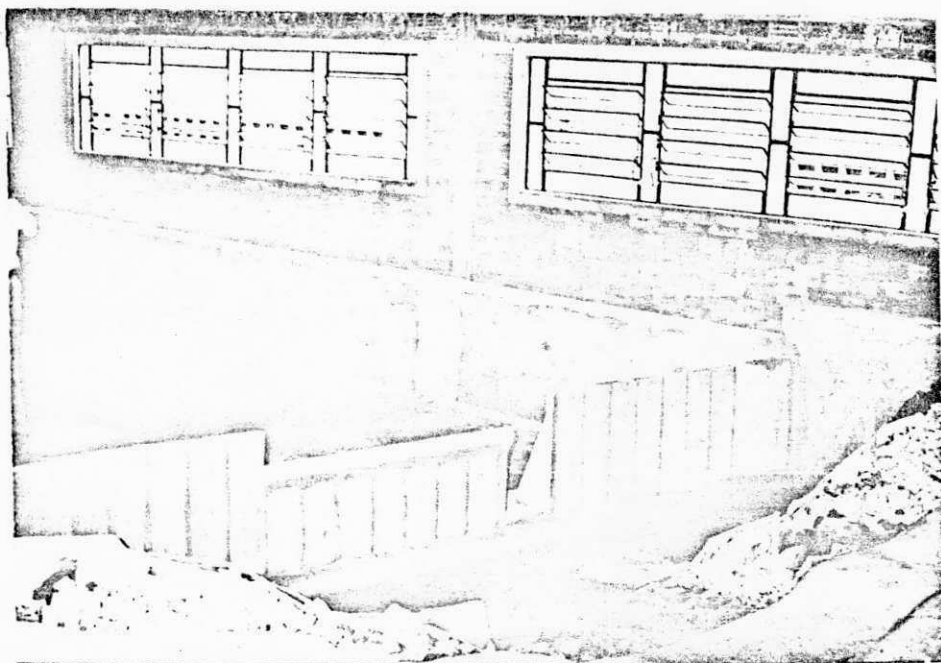


Foto 12 - Modelo Tridimensional - Vista  
de montante



Foto 13 - Modelo Tridimensional -- Montagem da  
bacia de dissipação

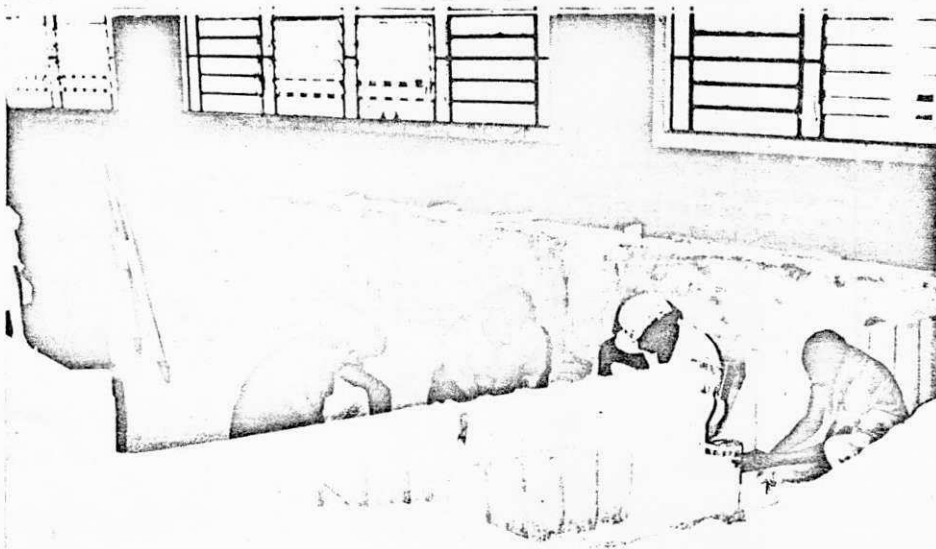


Foto 14 - Modelo Tridimensional - Montagens das  
tomadas d'agua

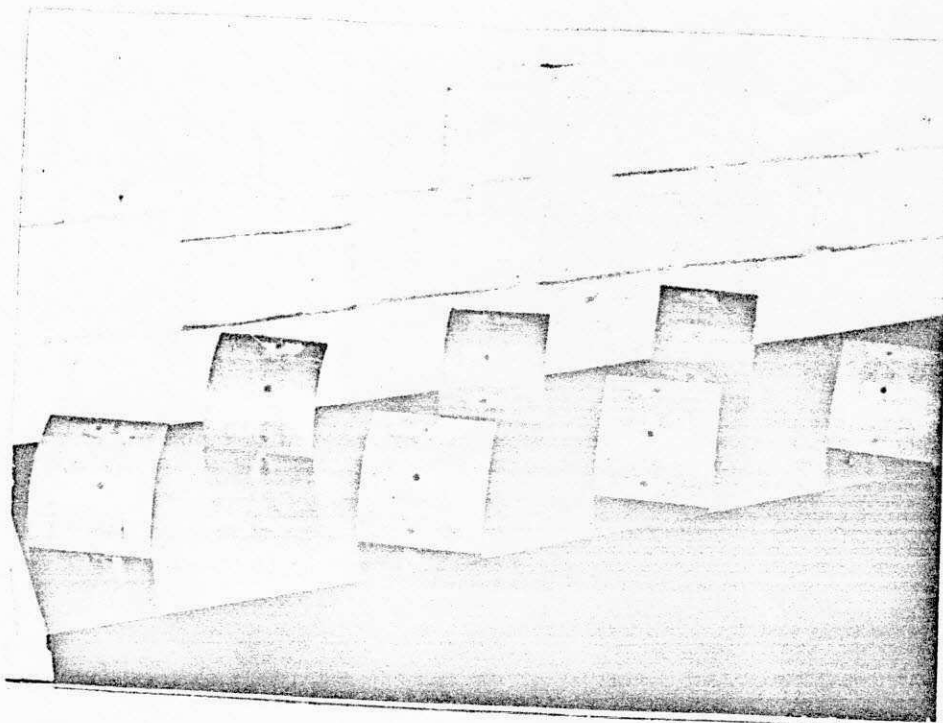


Foto 15 - Modelo Tridimensional - Comportas

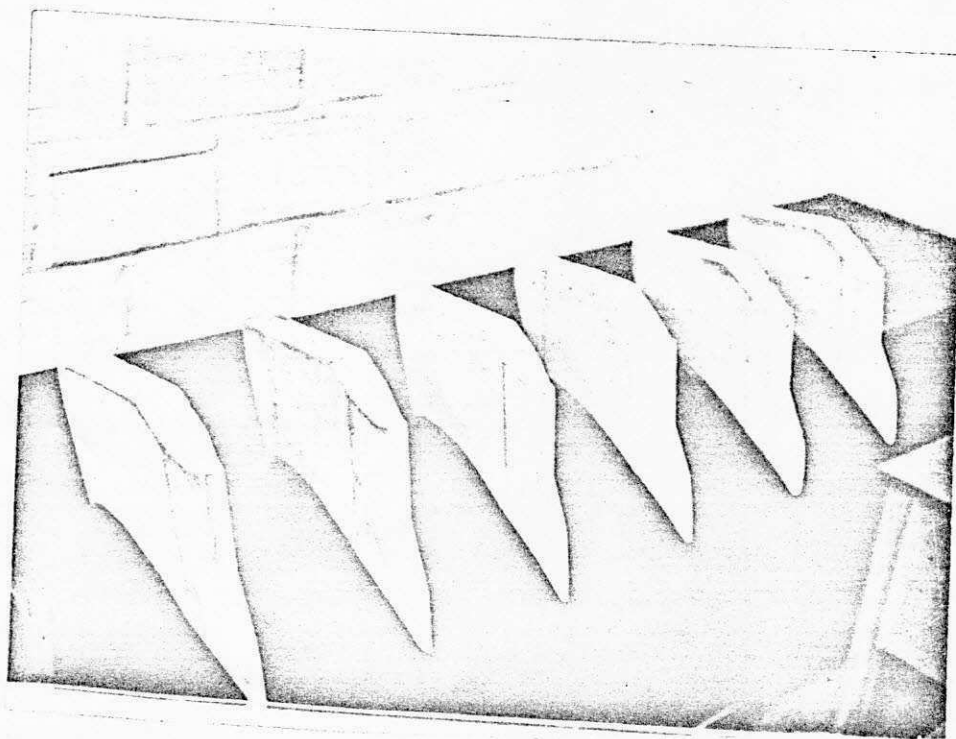


Foto 16 - Modelo Tridimensional - Pilares

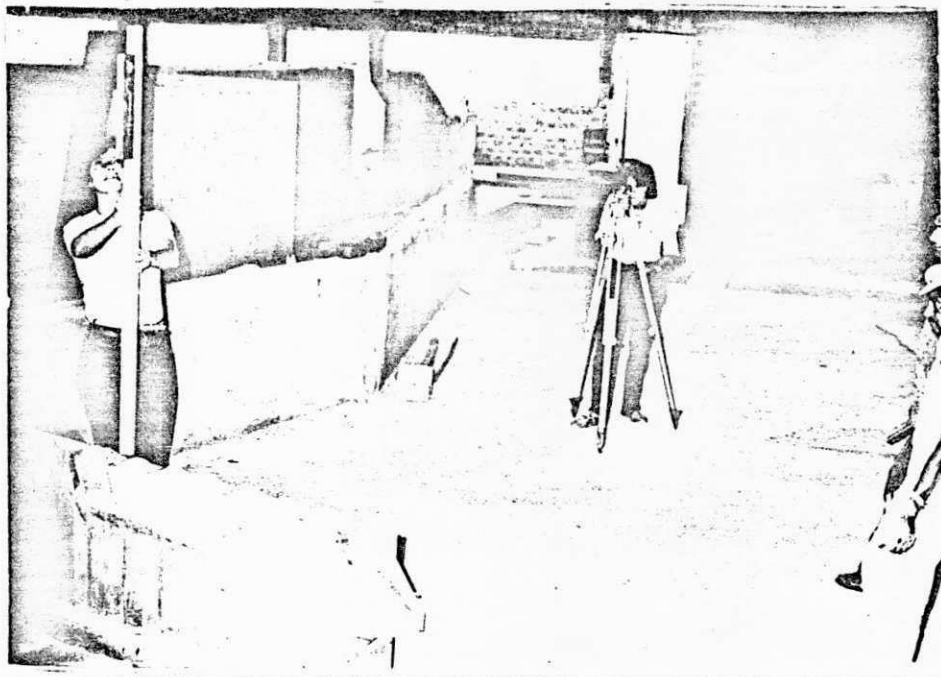


Foto 17 - Modelo Tridimensional - Montagen  
dos Pilares e Comportas

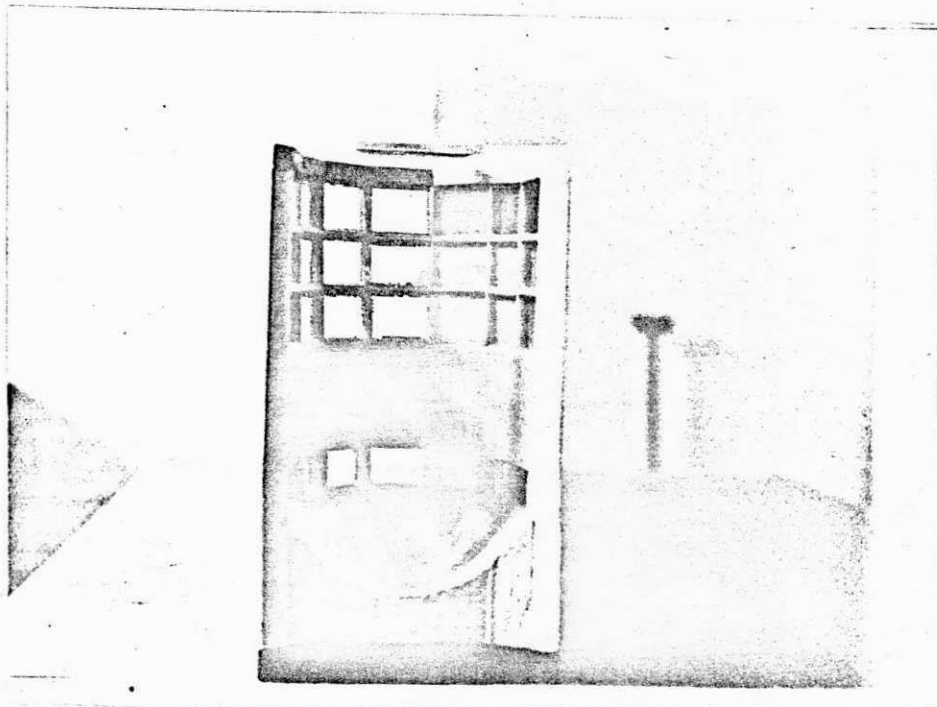


Foto 18 - Modelo Tridimensional - Tomada  
d'agua da soleira

Campina Grande, 30 de Abril de 1982

*Rosa Dias Hernández*  
ROSA DIAS HERNÁNDEZ

Nº de matrícula 7721290-7

- Estagiária -