

The background of the slide is an aerial photograph of a large-scale dam construction project. A wide river flows through a valley, with a large concrete dam structure under construction in the center. The surrounding landscape is a mix of green fields, forested areas, and construction equipment and roads. The sky is clear and blue.

# **OBRAS DE DESVIO DE RIO E ASPECTOS DE SEGURANÇA OPERACIONAL DURANTE CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS**

**ERTON CARVALHO  
COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS - CBDB  
PRESIDENTE HONORÁRIO**

- \* Desvio - Critérios de Projeto
- \* Etapas de Desvio
- \* Tipos de Desvios: Exemplos
- \* Casos históricos importantes

# Desvio - Critérios de Projeto

## 1 – Critérios Recomendados pela Eletrobrás

- Não há perigo de vidas humanas e nem se prevê que ocorram danos importantes na obra e seu andamento. - Risco Anual: 5% a 20%
- Não há perigo de vidas humanas mas já se prevêem danos importantes na obra e seu andamento. – Risco Anual: 2% a 5%
- Há algum perigo de perda de vidas humanas e são previstos importantes danos na obra e ao seu andamento. – Risco Anual: 1% a 2%
- Há perigo real de perda de vidas humanas e são previstos grandes danos à obra e ao seu andamento. – Risco Anual: <1%

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n$$

onde:

r = risco assumido;

$T_r$  = tempo de recorrência da vazão de cheia, em anos (inverso do risco anual);

n = duração da fase do desvio, em anos;

## 1. Desvio 1ª fase

Predominou o critério de vazões na faixa de 25 a 50 anos de recorrência, com 58% dos casos e 10 anos de recorrência, com 12 %.

Excepcionalmente registraram-se vazões com 100 anos de recorrência.

Nas barragens destinadas às Pequenas Centrais Hidrelétricas predominou o critério de 5 anos de recorrência, que correspondeu a 20% dos casos.

## 2. Desvio 2ª fase

Analizadas 45 construções de barragens:

Em 30% dos casos foram adotados TR=25 anos.

Em 45% dos casos, TR= 50 a 70 anos.

Barragens principalmente localizadas no extremo sul do país, sem um período chuvoso bem definido, totalizaram 25% dos casos, com tempos de retorno entre 100 e 500 anos.

# Etapas de Desvio

## Primeira Fase

Desvio através de estrangulamento parcial do rio

Parte da calha fluvial é protegida por ensecadeiras para criar uma área ensecada onde serão executadas as estruturas

TR=25 anos (R=4% para o primeiro ano; Para o segundo R=7,8%)

Na maioria dos casos as ensecadeiras são construídas com enrocamento lançado em ponta de aterro.

Vedação é geralmente feita com solo formando um núcleo central ou lançado no paramento molhado do maciço.

Proteção com *rip-rap* blocos dimensionados em função das velocidades.  
Exemplos:  $D_{50}=0,04285 V^2$  (Ishbash)

*Perfis de níveis de água determinado, por modelagem matemática, considerando escoamentos do tipo gradualmente variado (Programas de Remanso).*

# Barragem de Peixe Angical



Foto 17 - Vista aérea da UHE Peixe Angical

## - Barragem de Peixe Angical

A primeira fase do desvio foi realizada com estrangulamento parcial do curso d'água, permitindo executar as barragens das margens esquerda e direita, a tomada d'água, a estrutura vertedoura com nove vãos e parte da barragem de CCR. ( $Q=13.061 \text{ m}^3/\text{seg}$ ;  $TR=25 \text{ anos}$ )





Foto 1 - Desvio de Primeira Fase da Barragem de Anta



Foto 2 - Fase Inicial do Desvio - Vista de Montante

AHA XINGÓ

## Segunda Fase

- Desvio através de túneis, adufas e blocos rebaixados de vertedouros, tomada de água e casa de força.

A segunda etapa construtiva da barragem corresponde ao fechamento total da calha com o escoamento da totalidade da vazão do rio através dos condutos de desvio.

O fechamento da calha é uma operação delicada e de alto risco. Exige geralmente blocos de grandes dimensões estudados e definidos por fórmulas empíricas / experimentais (Ishbash, Groat, etc..), que consideram os efeitos de tombamento e arrastamento. Devem ser estudados em modelo reduzido. Muitas vezes exigem para diminuir as velocidades, dois ou mais cordões de enrocamento.

UHE XINGÓ



Foto 4 - Fechamento do Rio e Desvio pelos Túneis - Vista de Jusante

UHE XINGÓ

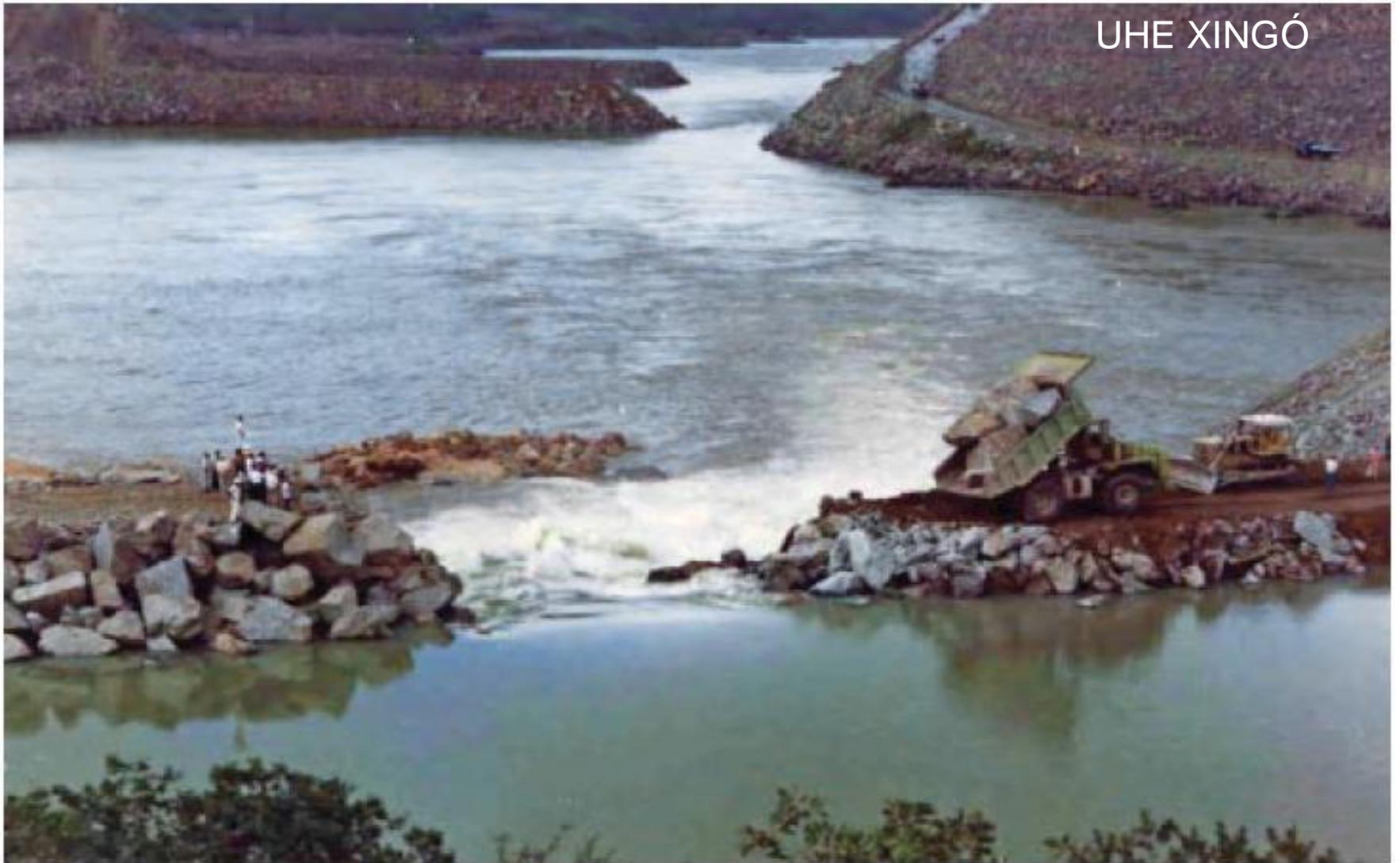


Foto 4 - Fechamento da ensecadeira de Xingó

Blocos D50 = 1,60m

## -Desvio através Adufas e/ou Blocos Rebaixados do Vertedouro

A utilização de galerias, na maioria das vezes incorporadas na estrutura do vertedor, é uma solução que tem sido utilizada com bastante sucesso.

O posicionamento dessas galerias depende de cada projeto. Às vezes se localizam pouco acima da fundação do vertedouro ou, em muitos casos, não muito abaixo da soleira vertente.

Para atender à segurança desejada, a complementação da capacidade de vazão das galerias pelo galgamento de blocos rebaixados do vertedouro ou da própria barragem tem sido muito usual.

## - Barragem de Itumbiara

O desvio do rio foi executado em duas fases. A primeira, com a utilização parcial da calha fluvial, teve suas ensecadeiras dimensionadas para a ocorrência de uma vazão de 8.500 m<sup>3</sup>/s, correspondendo a 25 anos de recorrência (Foto 10 e Figura 4).



Foto 10 - Desvio Primeira Fase da UHE Itumbiara - Estruturas em Construção

Na segunda fase foram construídas oito galerias de 5 m de largura, 7,70 m de altura e 88 m de comprimento com a capacidade de 2.500 m<sup>3</sup>/s, e a utilização de blocos rebaixados do vertedor durante todo o processo construtivo, que permitiam a passagem de uma vazão de 13.000 m<sup>3</sup>/s, correspondendo a 500 anos de recorrência (Foto 11).



Foto 11 - Galerias de Desvio e Blocos Rebaixados do Vertedor de Itumbiara

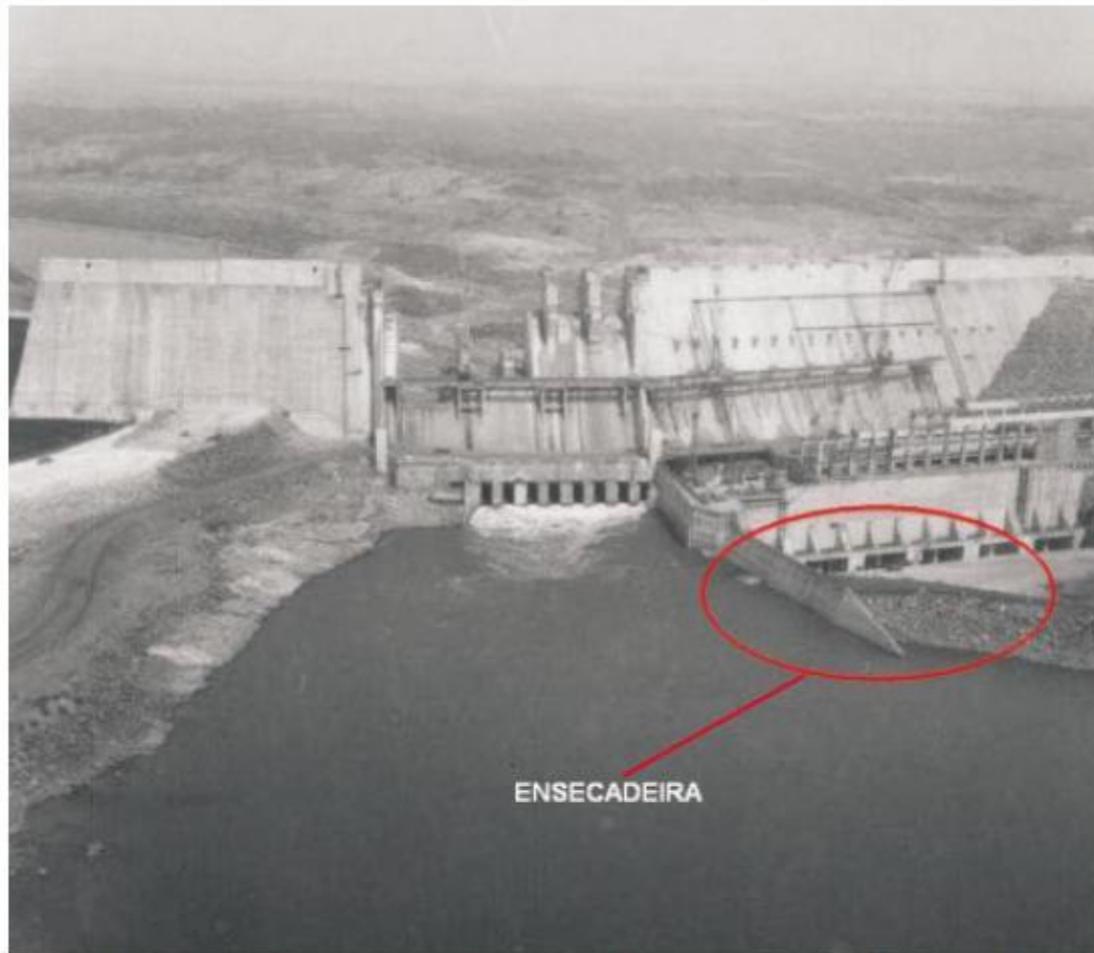


Foto 12 - Galerias de Desvio e Ensecadeira de Proteção da Casa de Força de Itumbiara

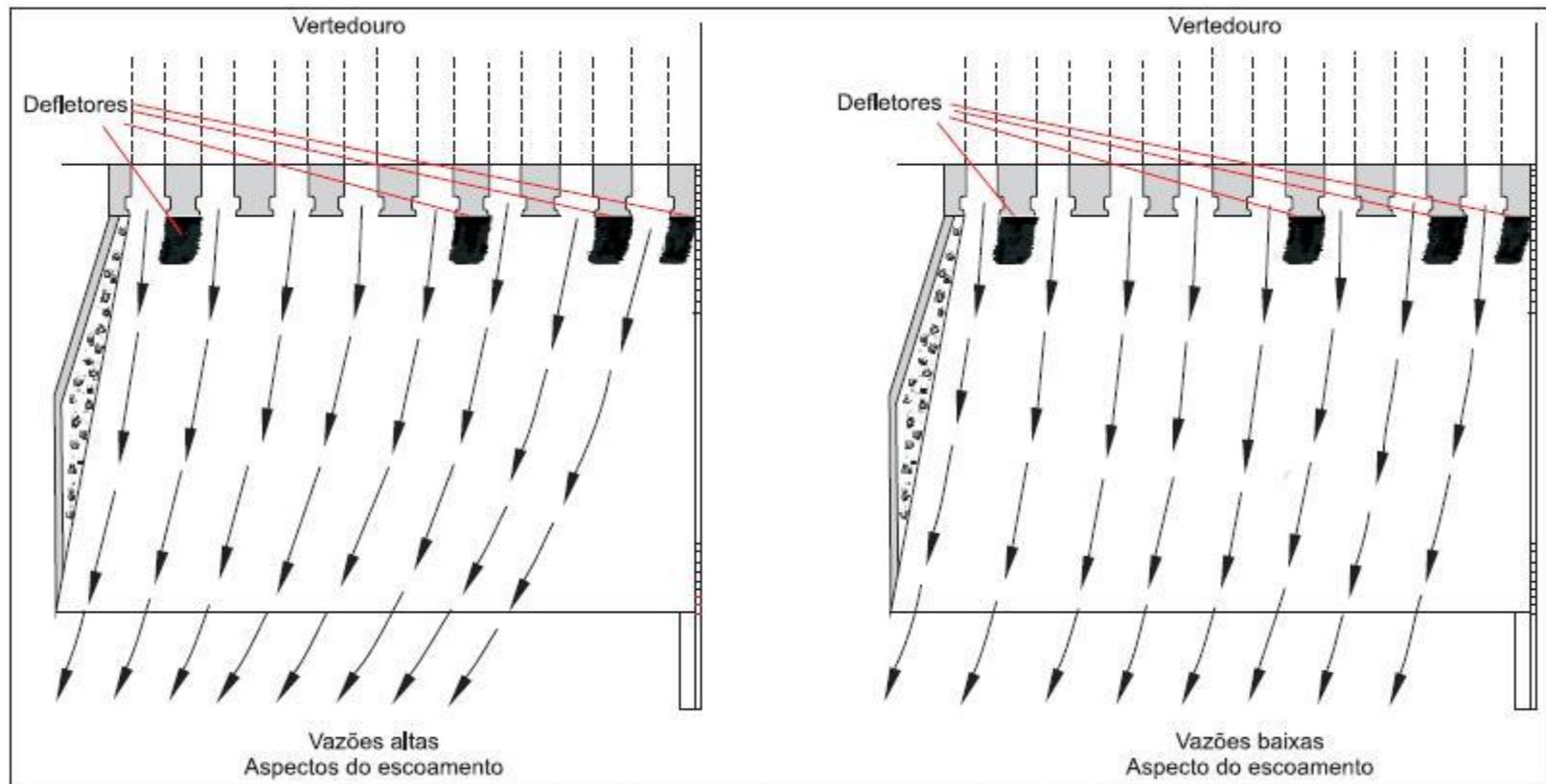


Figura 5 - O Funcionamento dos Defletores na Saída das Galerias de Desvio de Itumbiara

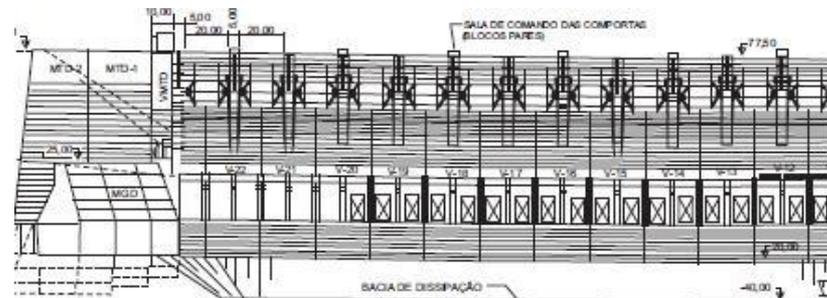
Em certos casos, quando a estrutura do vertedor é muito baixa, mas ainda não o suficiente para realizar o desvio do rio, pode-se manter um número adequado de vãos com as soleiras rebaixadas, que poderão ser galgadas durante o período de desvio do rio. Para esta condição a capacidade de vazão é estimada considerando as estruturas como soleiras espessas.



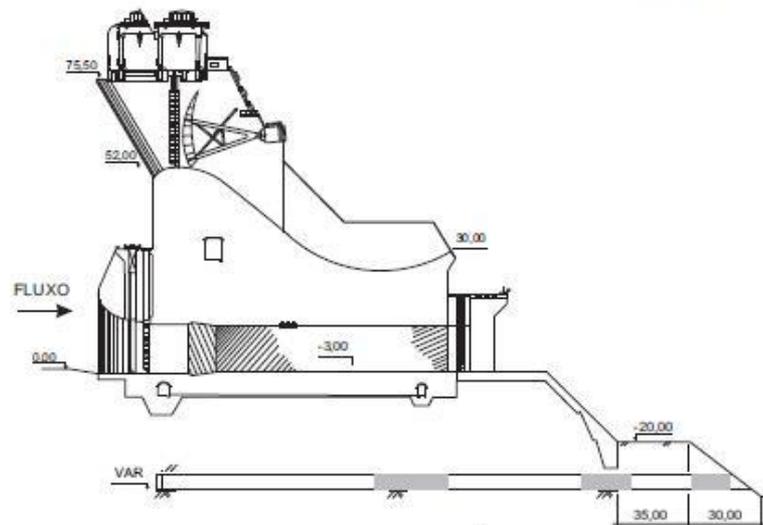
Foto 13 - Cheia de Janeiro de 1978 em Itumbiara

## - Barragem de Tucuruí

Na terceira fase de desvio foram utilizadas 40 adufas, posicionadas na parte baixa do vertedouro, com uma seção de 6,50 m de largura por 13 m de altura e 102,17 m de comprimento, com a capacidade total de 56.000 m<sup>3</sup>/s.



VISTA DE JUK



CORTE TÍPICO  
(BLOCOS COM ADUFA)

A segunda fase do desvio foi realizada para complementar a barragem de CCR localizada na parte central do rio. Como essa parte da barragem foi de execução muito rápida.

Durante o período de estiagem, o desvio foi realizado através das soleiras rebaixadas de três vãos do vertedor (Foto 19). No período de cheia (dezembro a fevereiro), a barragem de CCR estava bastante elevada, de modo que o desvio pôde contar com os demais vãos do vertedor operando.



Foto 19 - Desvio Através de Soleiras Rebaixadas em Três Vãos do Vertedouro de Peixe Angical

# **Desvio por Canal Lateral**

UHE SÃO JOSÉ



UHE SÃO JOSÉ



23/11/2009



UHE SÃO JOSÉ



# UHE SÃO JOSÉ



# Ensecadeiras e Barragens Galgáveis

## Barragem de Serra da Mesa

A barragem é de enrocamento com núcleo de argila assente em rocha no leito do rio, com uma altura máxima de 154 m, um comprimento ao longo da crista de 1.510 m, um volume total de 12.619.000 m<sup>3</sup> de materiais compactados, sendo 3.402.000 m<sup>3</sup> de núcleo (areia siltoargilosa), 2.132.000 m<sup>3</sup> de transição natural, 608.000 m<sup>3</sup> de transições beneficiadas e 6.477.000 m<sup>3</sup> de enrocamentos.

Reservatório A= 1780 km<sup>2</sup> e V=54,5 bilhões de m<sup>3</sup>



Foto 1 - Vista Aérea do Empreendimento



Foto 2 - Vista geral do esquema de desvio (ensecadeiras galgáveis e túnel)

# Desvio do Rio e Etapas Construtivas

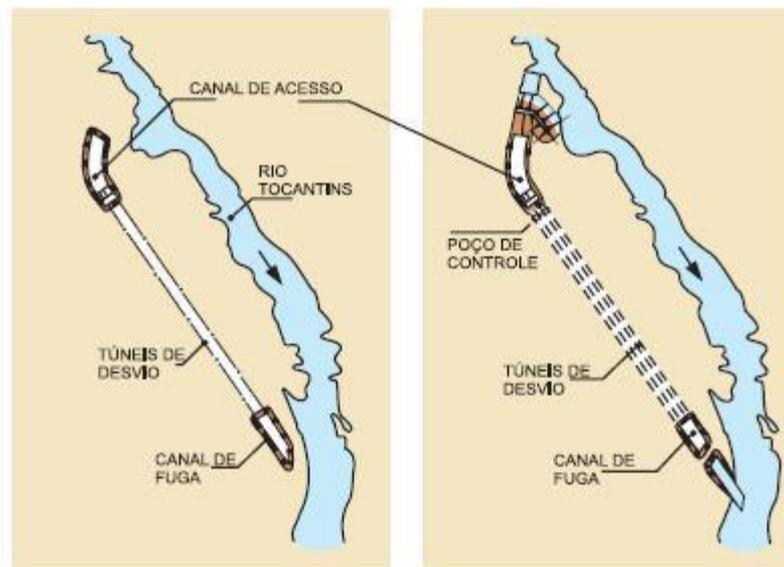


Figura 4 - Túneis de Desvio - Etapas da Construção

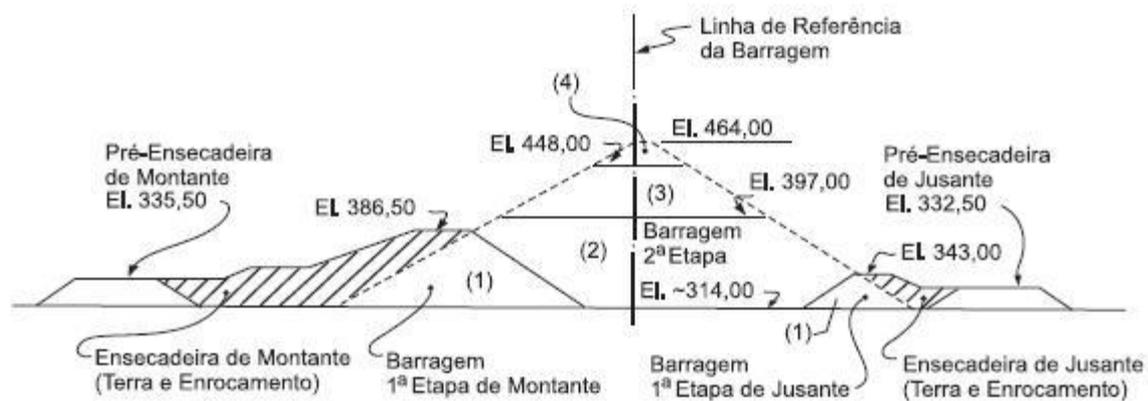


Figura 5 - Barragem e Ensecadeiras - Concepção do Projeto Básico

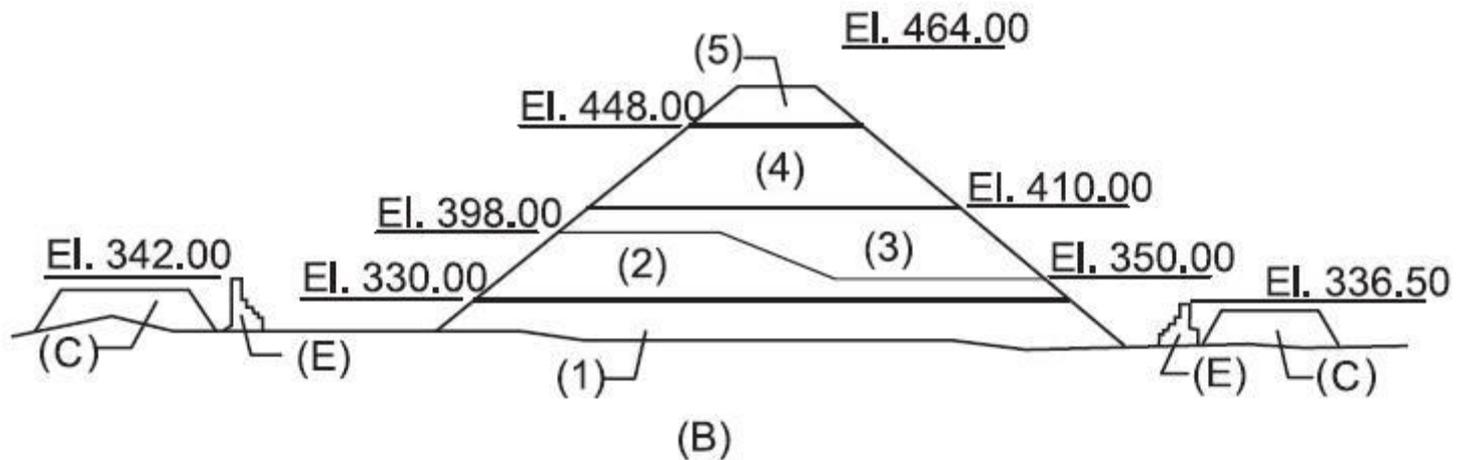


Figura 8 - Etapas Construtivas da Barragem e Ensecadeiras -  
Concepção Final

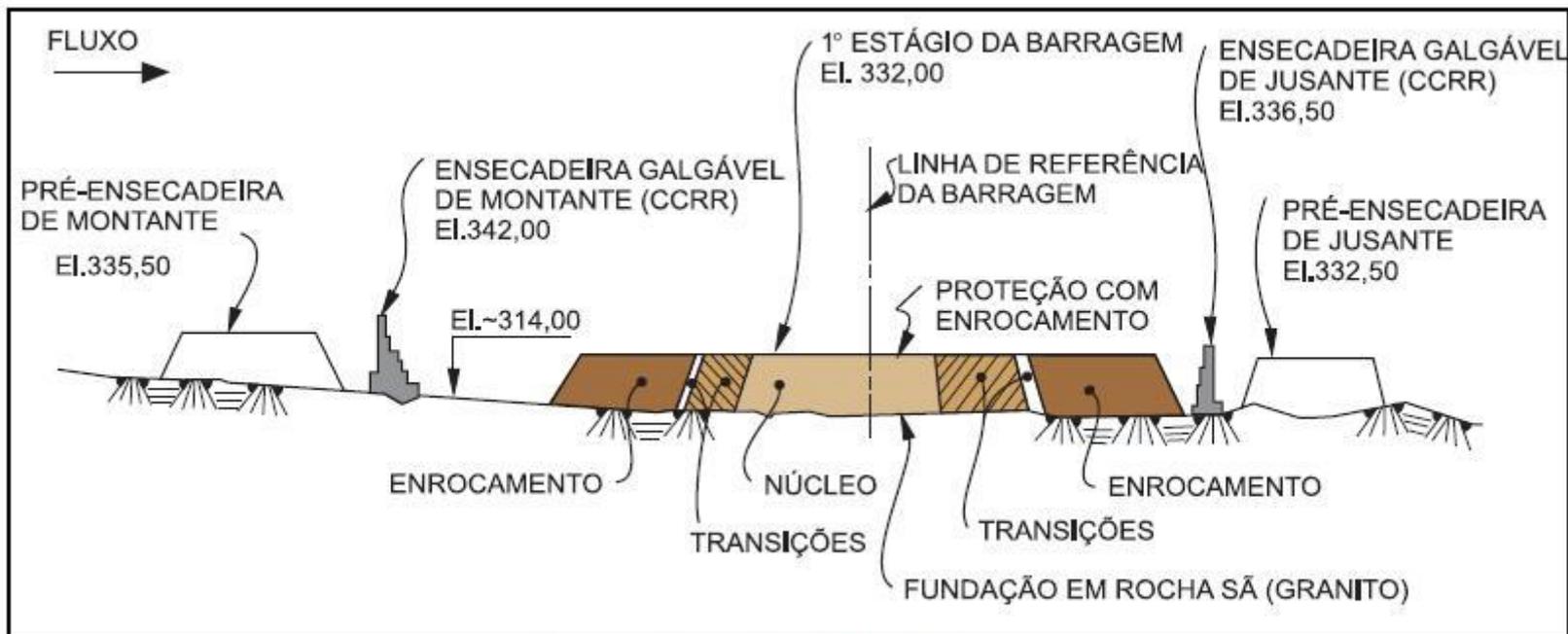
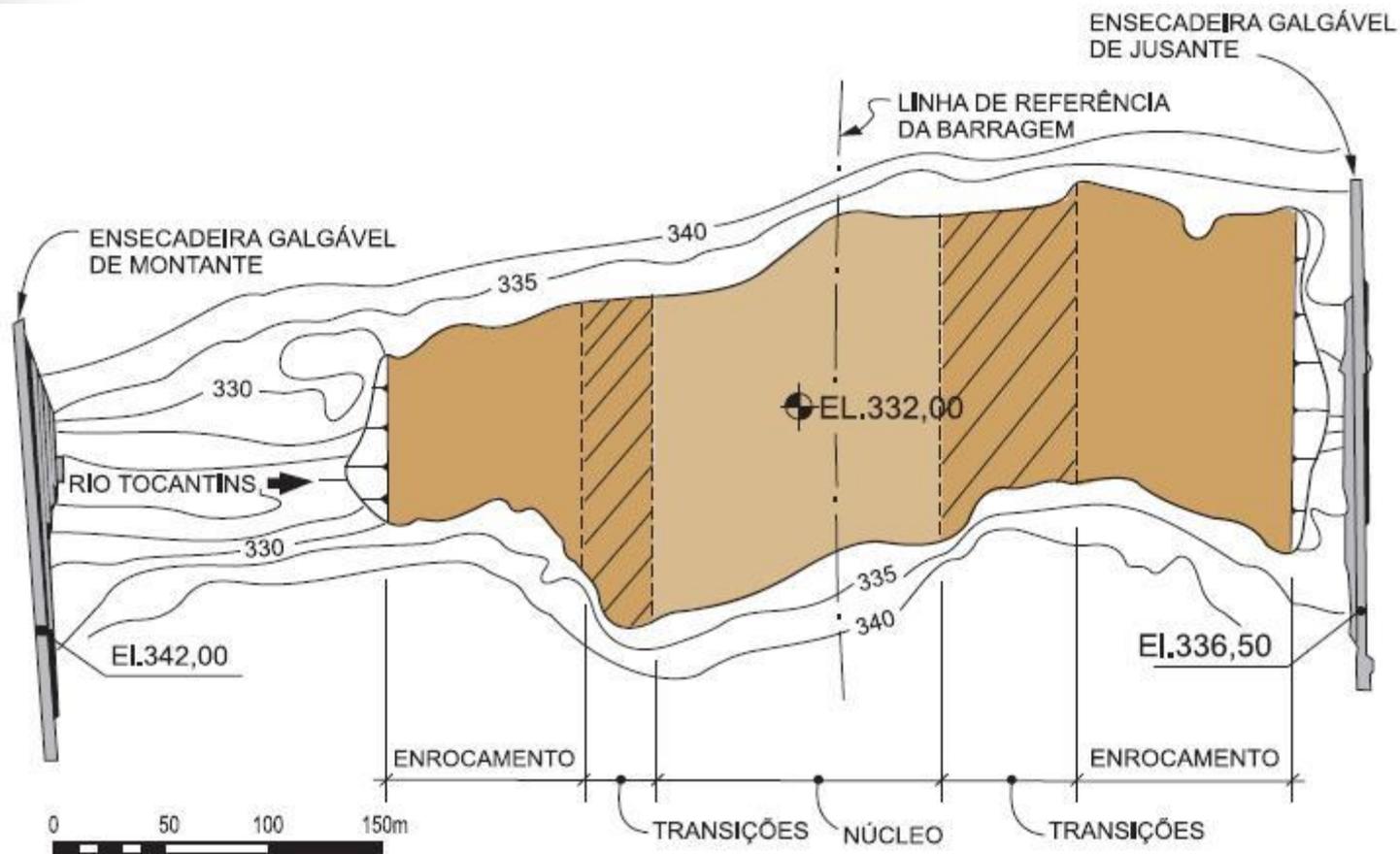
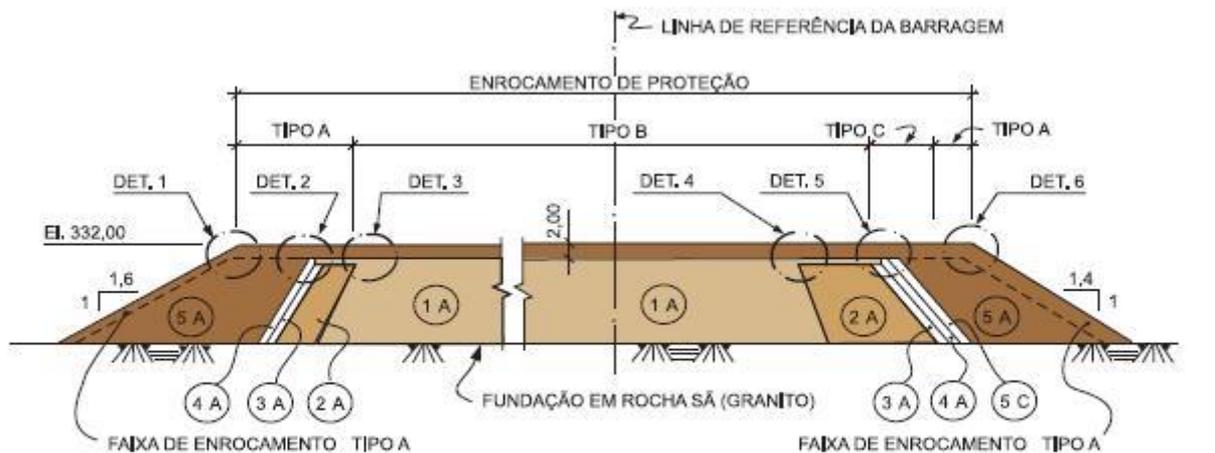


Figura 9 - Primeira Etapa Galgável da Barragem



ZONA DA BARRAGEM	FUNDAÇÃO MONTANTE	ENROCAMENTO MONTANTE	TRANSIÇÕES MONTANTE	NÚCLEO	TRANSIÇÕES JUSANTE	ENROCAMENTO JUSANTE
VELOCIDADES (m/s)	4,3	5,1 a 2,6	3,4 a 2,3	3,4 a 2,1	2,7 a 2,0	2,7 a 1,8

Figura 10 - Estudos Hidráulicos em Modelo Reduzido - Velocidades



SEÇÃO TÍPICA



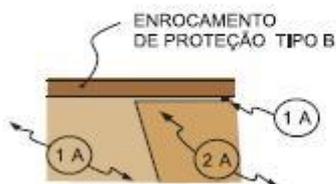
DETALHE 1



DETALHE 2



DETALHE 3



DETALHE 4

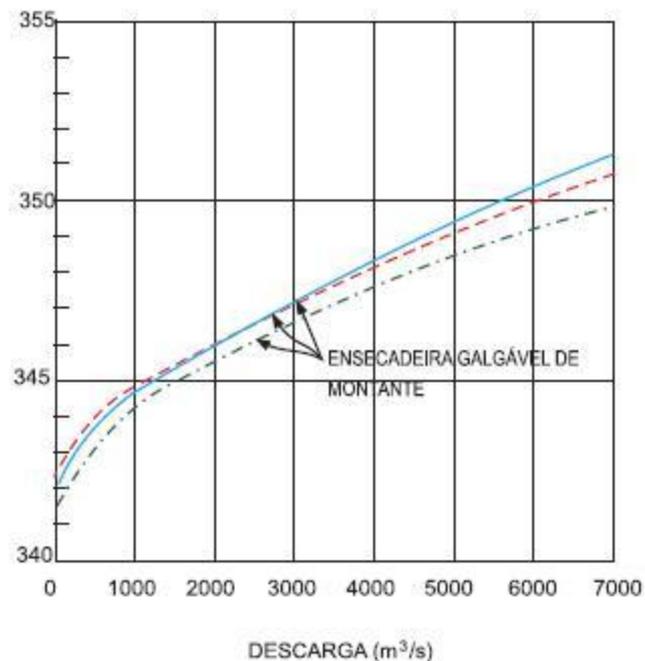
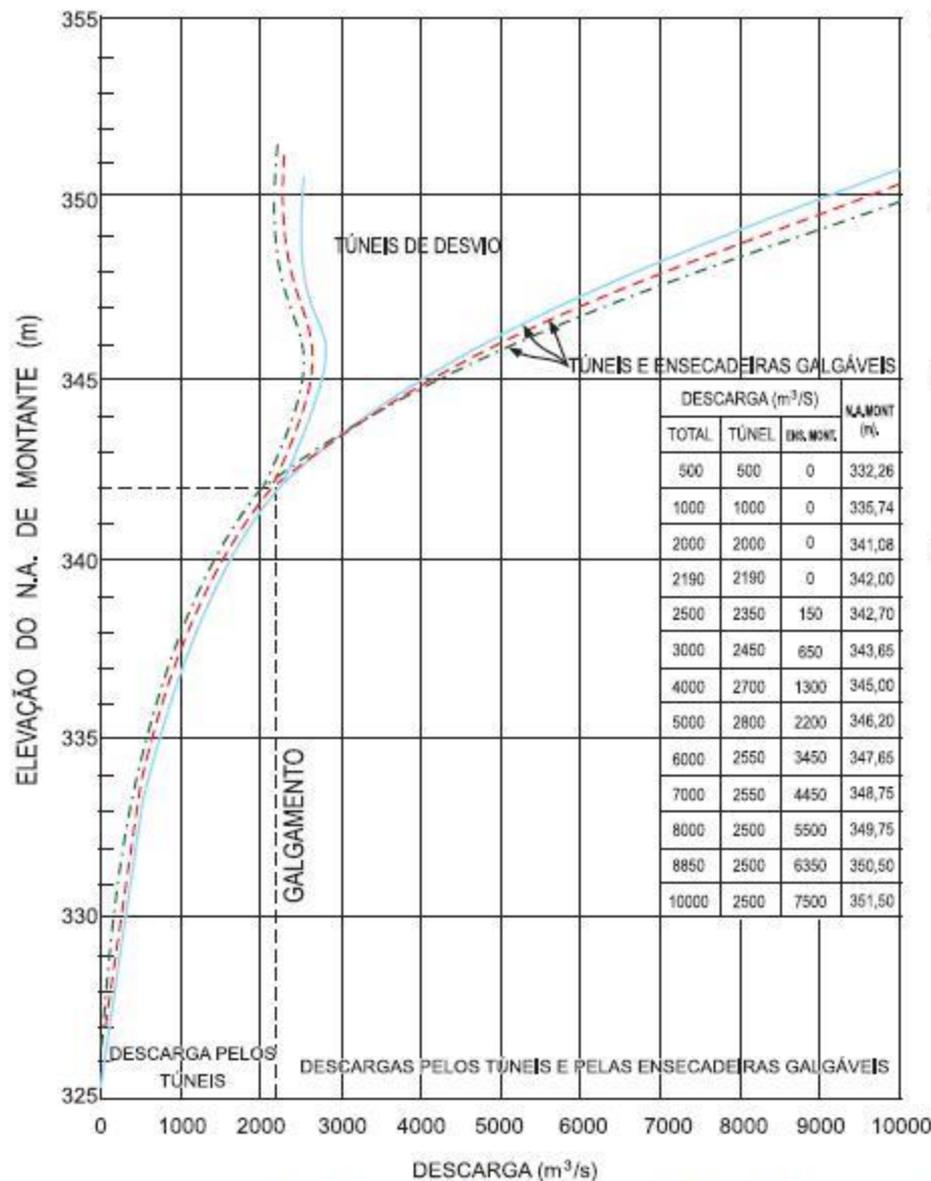


DETALHE 5



DETALHE 6

Figura 11 - Detalhes das Proteções do Estágio Galgável



LEGENDA:

- CÁLCULO TEÓRICO\*
- - - MODELO
- · - · PROTÓTIPO

Figura 14 - Curva de Descarga dos Túneis de Desvio e da Ensecadeira Galgável de Montante

<b>Período Chuvoso</b>	<b>Vazão Máx. do Rio (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Vazão Máx. sobre a barragem (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Nível d'água Max. sobre a Barragem (m)</b>
89 – 90	9171	6571	12,4
90 – 91	3403	853	6,8
91 – 92	6701	4151	10,9
92 – 93	3907	1220	7,5
93 – 94	4601	1850	8,5

# Desvio pela Tomada de Água e Casa de Força

Desvio em casa de força apresenta grande complexidade e tem sido utilizado somente em casos especiais.

Os problemas que limitam o seu uso são:

- Grande redução do porte das vazões de desvio, que geralmente não ultrapassa a descarga máxima turbinada prevista no projeto da obra.
- Há necessidade de serem implantados nos condutos forçados das unidades geradoras, que ainda não foram instalados, dispositivos de dissipação de energia, visando diminuir sensivelmente as velocidades no interior dos condutos.

Geralmente são usadas placas dissipadoras de aço, com orifícios, que estão sujeitas a processos cavitantes devido a altas velocidades. Essas placas na realidade substituem os rotores das turbinas que regulam as vazões e as velocidades no interior dos condutos forçados.

Na maioria das vezes utilizam-se, além do conduto forçado equipado com as referidas placas, a caixa espiral e o tubo de sucção da turbina. De um modo geral os fabricantes desses equipamentos não são favoráveis a esse tipo de solução, devido à ocorrência de velocidades e pressões no interior da caixa espiral acima das admissíveis.

No Brasil foram identificados quatro desvios de rio realizados pela tomada de água e casa de força, numa pesquisa que envolveu 109 casos. O mais importante deles foi o desvio da segunda fase do Aproveitamento Hidrelétrico de Ilha Solteira, ocorrido em maio de 1972, após o término do período chuvoso.

A vazão derivada pela casa de força foi da ordem de 4.000 m<sup>3</sup>/s, através de 16 condutos dos 20 grupos geradores, sendo que 4 deles foram utilizados para montagem das respectivas unidades, durante a operação de desvio.

Os condutos foram preparados para o desvio do rio com a construção, no interior de cada um deles, de um bloco defletor de concreto com forma triangular em planta, tendo como objetivo principal evitar os efeitos de cavitação nas estruturas dos condutos.

A Foto 20 apresenta o desvio pela casa de força já considerando o vertedouro em operação, com o reservatório em fase de enchimento.



Foto 20 - Final do Desvio da 2ª Fase. Tomada de Água/Casa de Força e Início de Operação do Vertedouro da UHE Ilha Solteira

## Exemplo de Placa Dissipadora utilizada na UHE Capanda



Foto 22 - Placa Dissipadora de Energia Colocada no Conduto Forçado

# Estatísticas de Tipos de Desvios de Rios no Brasil

Em 109 barragens pesquisadas constatou-se os seguintes tipos de obras de desvio:

## 1. Desvio 1ª fase

- Estrangulamento do leito natural do rio, através de ensecadeiras, ocorreu em 62% dos casos;
- Ensecadeiras com desvio através de túneis ocorreu em 22% dos casos;
- Outros tipos (canal de desvio lateral, ensecadeira na margem do rio, construção a seco, galerias de desvio) ocorreram em 16% dos casos.

## 2. Desvio 2ª fase

- Desvio através de adufas e galerias 44,50%
- Desvio através de túneis 34,50%
- Desvio através de vertedouros 13%
- Desvio através de tomada de água/casa de força 4%
- Desvio com a utilização de Canal lateral 4%

## 1. Desvio 1ª fase

Predominou o critério de vazões na faixa de 25 a 50 anos de recorrência, com 58% dos casos e 10 anos de recorrência, com 12 %.

Excepcionalmente registraram-se vazões com 100 anos de recorrência.

Nas barragens destinadas às Pequenas Centrais Hidrelétricas predominou o critério de 5 anos de recorrência, que correspondeu a 20% dos casos.

## 2. Desvio 2ª fase

Analizadas 45 construções de barragens:

Em 30% dos casos foram adotados TR=25 anos.

Em 45% dos casos, TR= 50 a 70 anos.

Barragens principalmente localizadas no extremo sul do país, sem um período chuvoso bem definido, totalizaram 25% dos casos, com tempos de retorno entre 100 e 500 anos.



**OBRIGADO  
PELA SUA  
ATENÇÃO!**







# BARRAGENS NO MUNDO

---

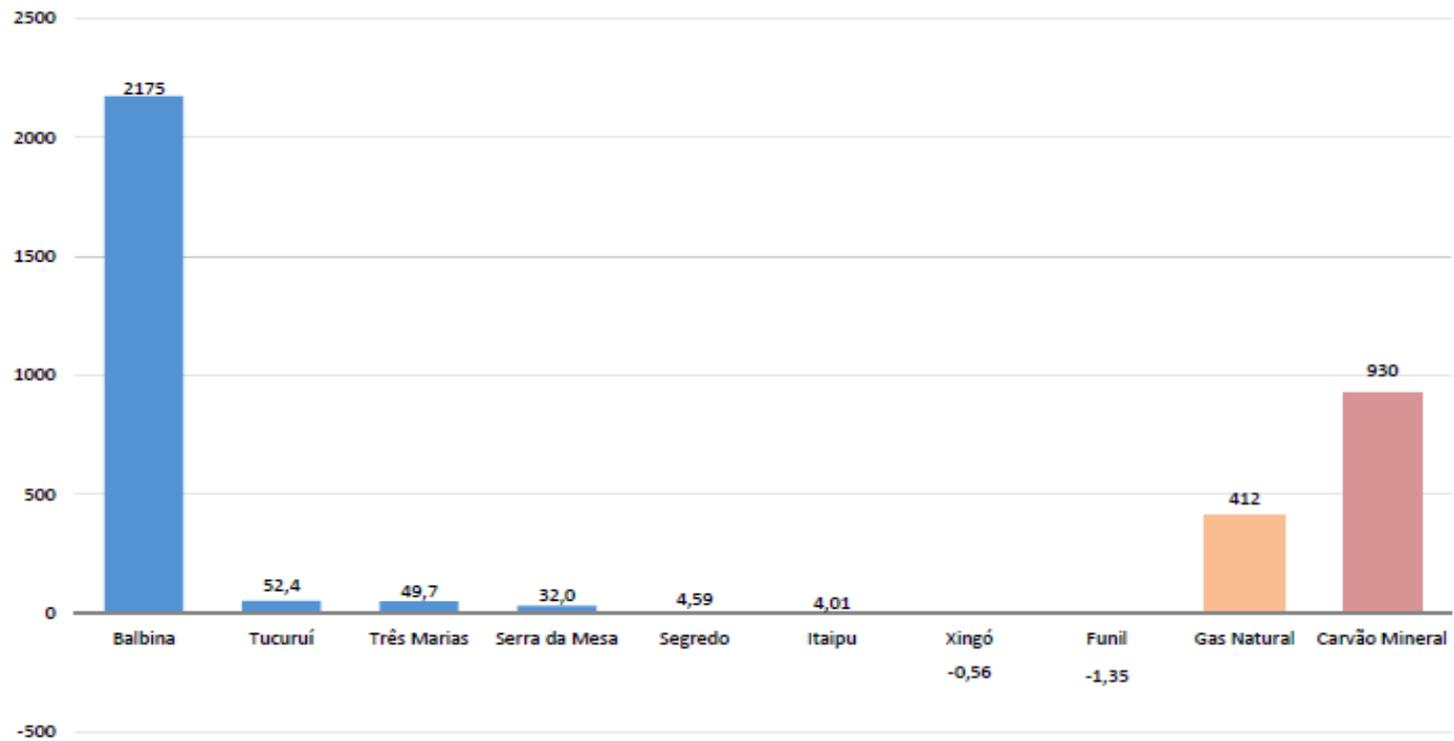
- **Situação Atual:**

- Existem 50 mil barragens com  $H > 15\text{m}$ , ou com  $VT > 3$  milhões de  $\text{m}^3$ .
- Capacidade total de armazenamento:  $7000 \text{ Km}^3$ , sendo 98% de grandes barragens.
- Volume útil:  $4000 \text{ Km}^3$  (10% do volume de vazão média anual dos rios).
- Área total dos reservatórios:  $500.000 \text{ Km}^2$  (igual a  $1/3$  dos lagos naturais da terra).
- 95% dos investimentos em barragens e reservatórios foram feitos depois de 1950.

# Usinas Hidrelétricas com Maiores Reservatórios de Acumulação do Brasil

UHE	Localização	Volume Útil do Reservatório (hm <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup> )	Potência (MW)	Entrada em Operação
Serra da Mesa	GO/TO	43,25	1.275	1998
Tucuruí	PA	38,98	8.370	1992
Sobradinho	BA	28,67	1.050	1979
Furnas	MG	17,22	1.216	1963
Três Marias	MG	15,28	396	1962
Emborcação	MG/SP	13,06	1.192	1983
Itumbiara	MG/GO	12,45	2.080	1980
Nova Ponte	PR/SP	10,38	510	1994
Balbina	AM	10,22	250	1989
Porto Primavera	SP/MS	5,93	1.540	1999
São Simão	MG/GO	5,54	1.710	1978
Marimbondo	MG/SP	5,26	1.440	1975
TOTAL		206,24	21.029	

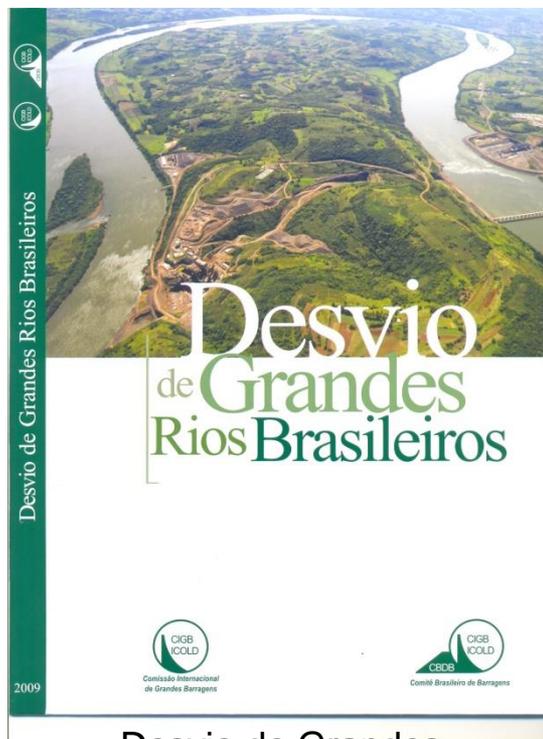
### Emissões Líquidas - Cenário Floresta Remoção Intensidade de GEE (gCO<sub>2</sub>e/kWh)



Fonte: Jorge Machado Damazio - CEPEL

# Últimas publicações disponíveis

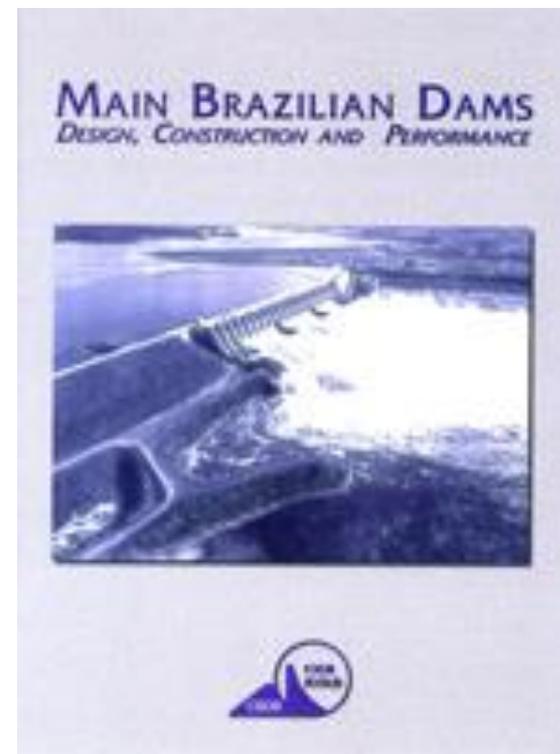
## Loja Virtual do CBDB



Desvio de Grandes  
Rios Brasileiros - R\$ 60,00



Grandes Vertedouros  
Brasileiros - R\$ 60,00



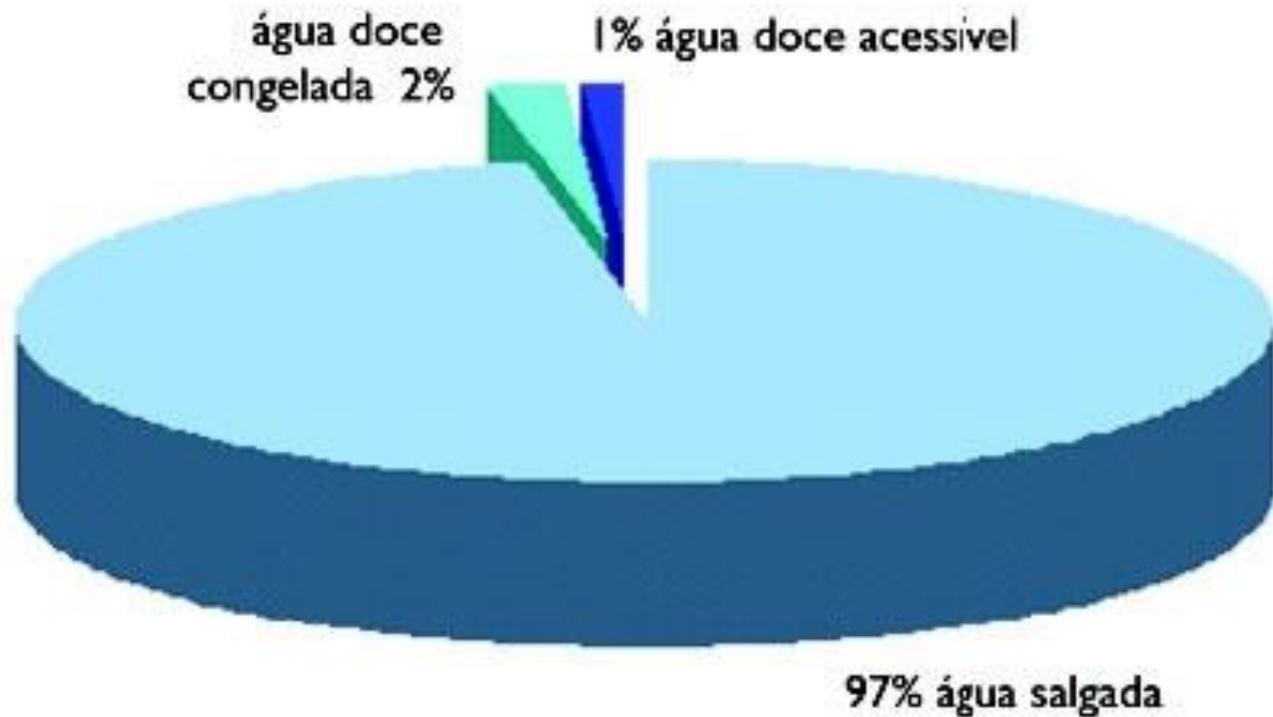
Main Brazilian Dams II  
R\$ 50,00

<http://www.cbdb.org.br/loja>

# RIO MIÑO - GALÍCIA



# A Distribuição da Água no Planeta



# RIO MADEIRA - BRASIL









Foto 2 - Emboque do Túnel de Serra da Mesa com Galgamento do Septo de Proteção

UHE XINGÓ

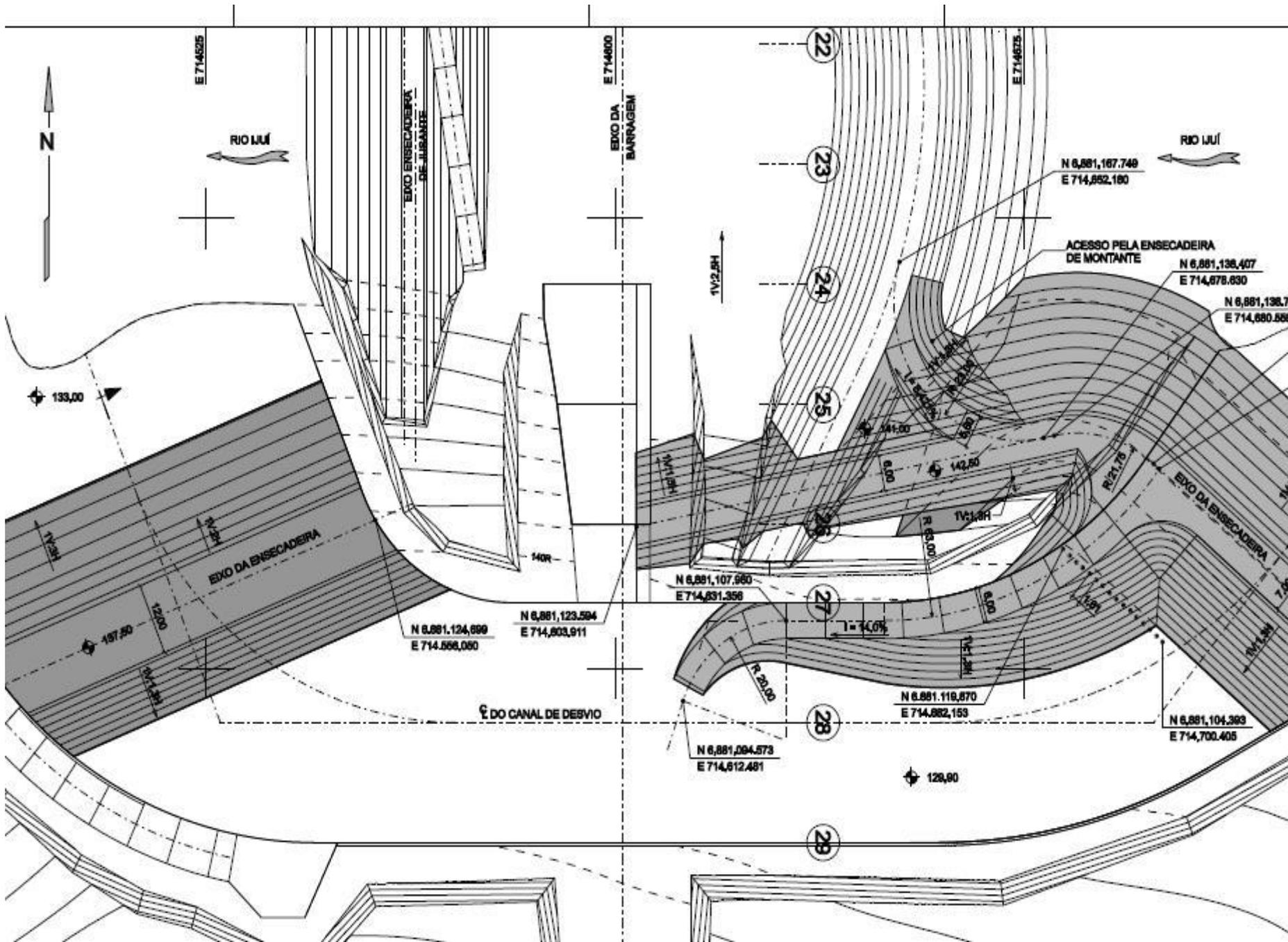


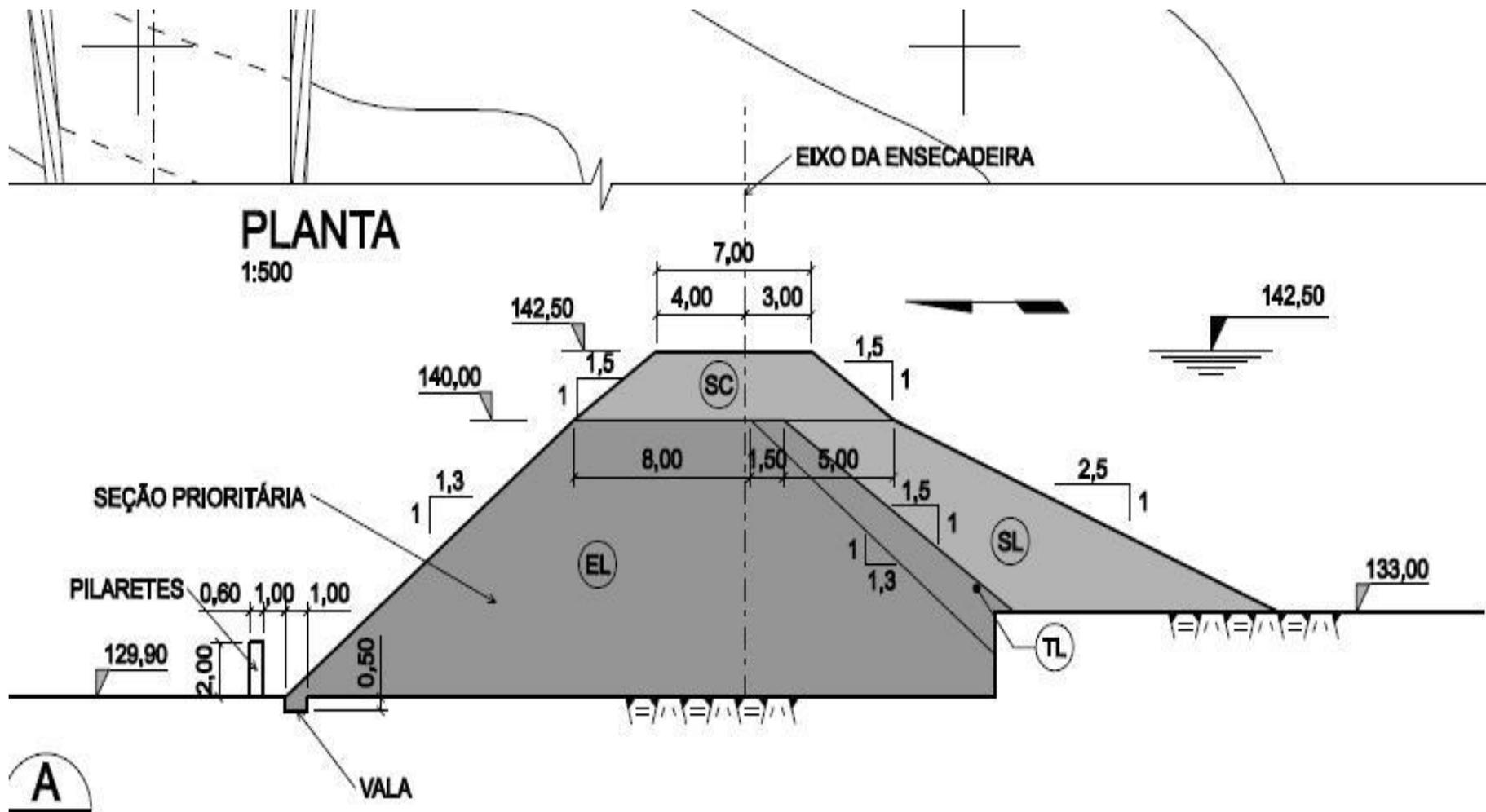
Foto 4 - Fechamento da ensecadeira de Xingó



UHE SÃO JOSÉ







## HOS DE REFERÊNCIA

GEM ESQUERDA ARRANJO GERAL PLANTA E SEÇÕES.  
 AVAÇÃO EM ROCHA - PLANTA.  
 AVAÇÃO EM ROCHA - SEÇÕES.  
 ) - MEMORIAL DESCRITIVO.

## NOTAS

- 1 - DIMENSÕES E ELEVAÇÕES EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.
- 2 - NA INTERSEÇÃO COM A ENSECADDEIRA DE 2ª ETAPA, O MATERIAL PERMEÁ DEVE SER REMOVIDO.

# UHE CORUMBÁ – RIO CORUMBÁ



# Desvio do Rio e Etapas Construtivas

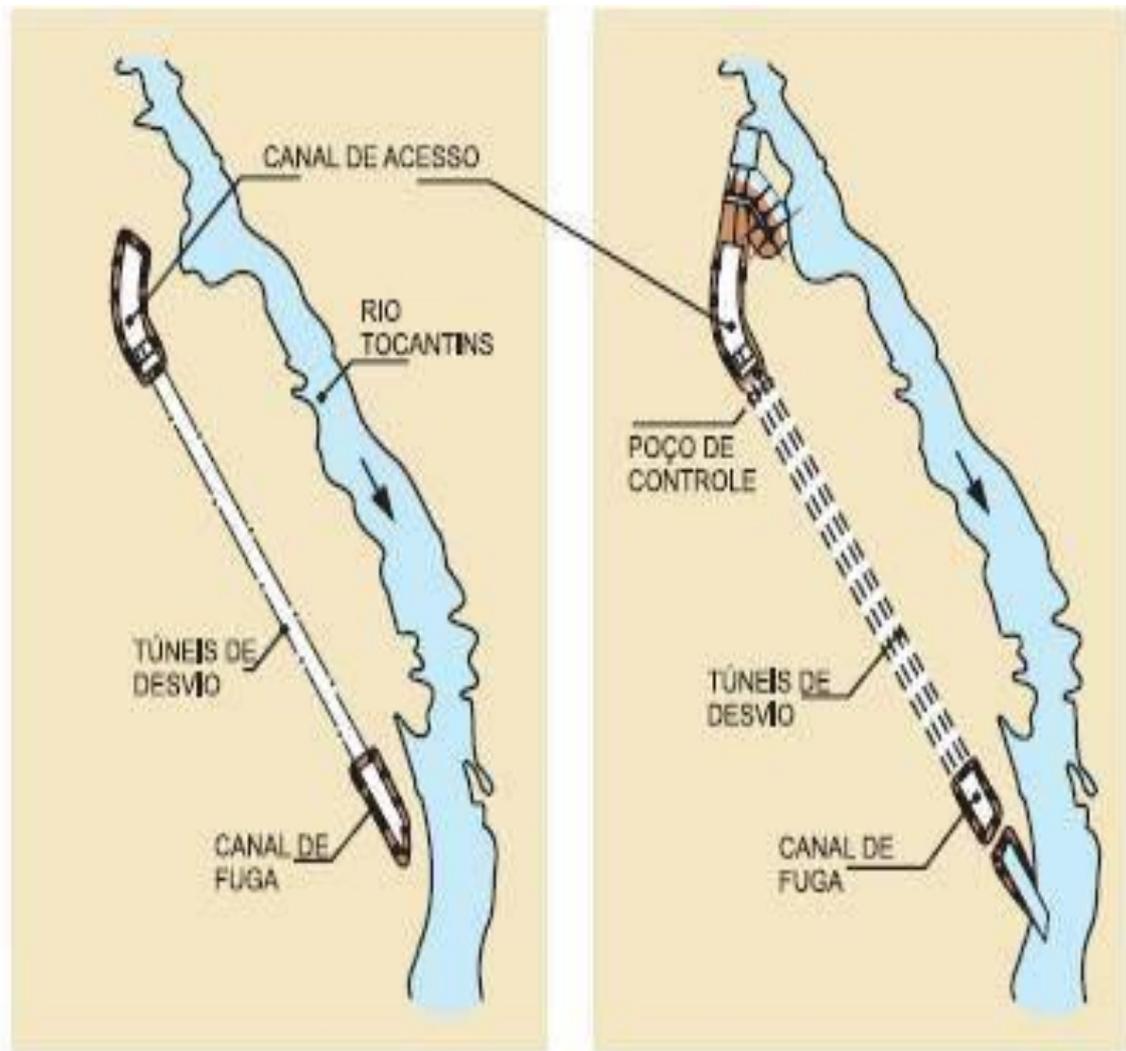


Figura 4 - Túneis de Desvio - Etapas da Construção

UHE SERRA DA MESA



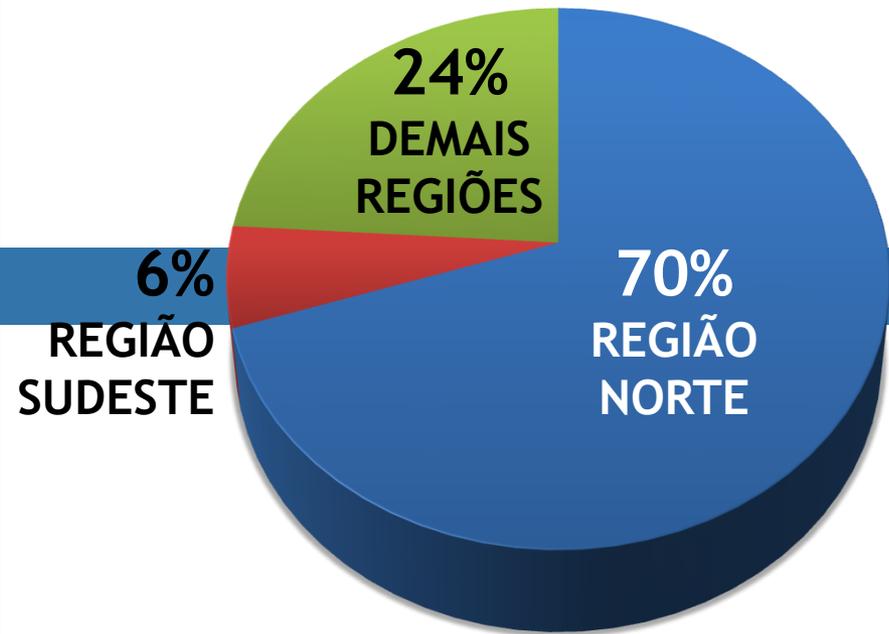
Foto 2 - Vista geral do esquema de desvio (ensacadeiras galgáveis e túnel)

UHE SERRA DA MESA

# A ÁGUA NO SOLO BRASILEIRO



**BRASIL: 12% DA ÁGUA  
DOCE SUPERFICIAL DO  
PLANETA**





# PRINCIPAIS BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS



# Recursos Hídricos Brasileiros

<i>Bacias</i>	<i>Area (10<sup>3</sup> km<sup>2</sup>)</i>	<i>Long-Term Mean Flow (m<sup>3</sup> /s)</i>
<i>Amazonas (Total Area)</i>	<i>6.112</i>	<i>209.000</i>
<i>(1) Amazonas (Brazilian Área)</i>	<i>3.900</i>	<i>133.380</i>
<i>(2) Tocantins</i>	<i>757</i>	<i>11.800</i>
<i>(3) Atlântico Norte</i>	<i>76</i>	<i>3.660</i>
<i>(3) Atlântico Nordeste</i>	<i>953</i>	<i>5.390</i>
<i>(4) São Francisco</i>	<i>634</i>	<i>2.850</i>
<i>(5) Atlântico Leste 1</i>	<i>242</i>	<i>680</i>
<i>(5) Atlântico Leste 2</i>	<i>303</i>	<i>3.670</i>
<i>(6) Paraguai</i>	<i>368</i>	<i>1.290</i>
<i>(6) Paraná</i>	<i>877</i>	<i>11.000</i>
<i>(7) Uruguai</i>	<i>178</i>	<i>4.150</i>
<i>(8) Atlântico Sudeste</i>	<i>224</i>	<i>4.300</i>
<i>Brasil</i>	<i>8.512</i>	<i>182.170</i>

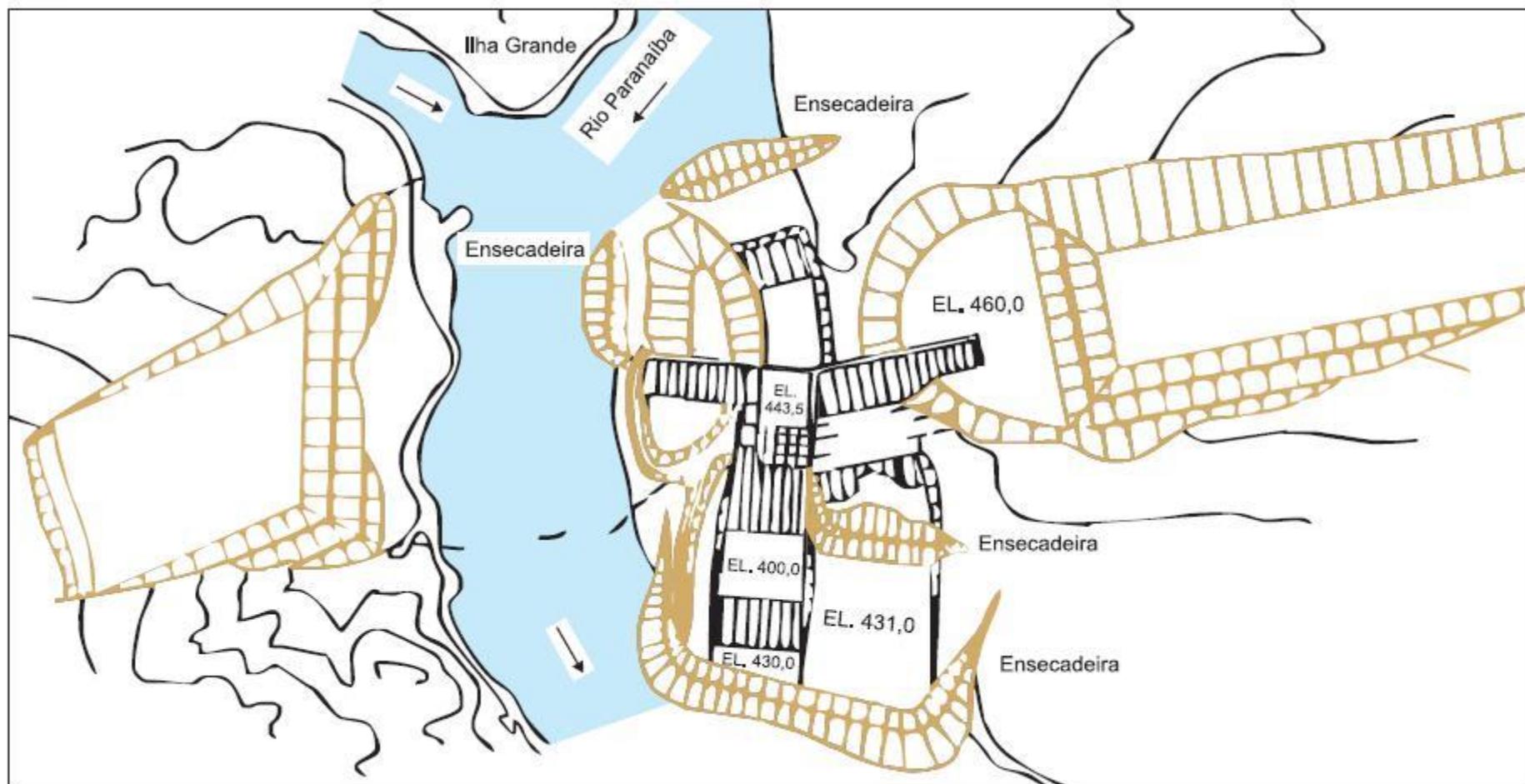


Figura 4 - Itumbiara - Final do Desvio de Primeira Fase - Situação em Outubro de 1976

## - Barragem de Marimbondo

Situada no rio Grande, vertedor composto por 9 vãos com capacidade de 21.400 m<sup>3</sup>/s.

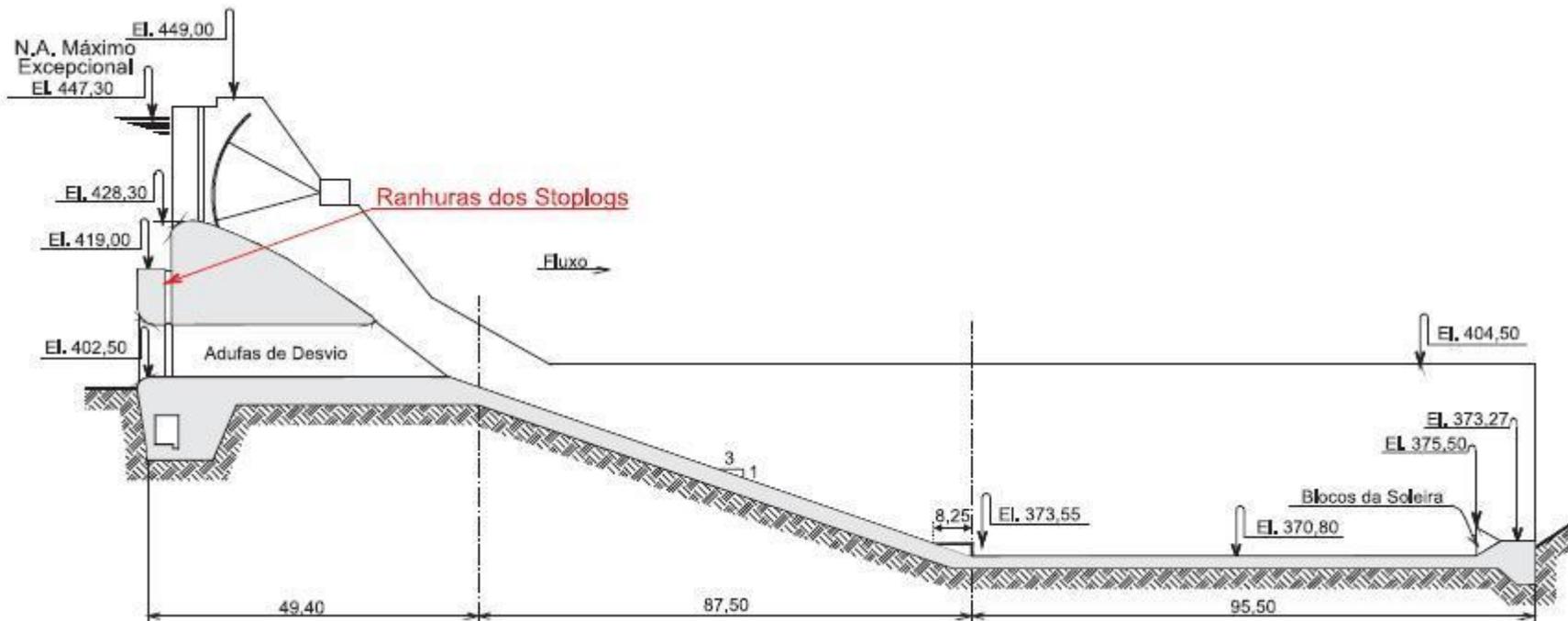
O mesmo foi utilizado, na segunda fase de desvio do rio, para atender uma vazão de 9.900 m<sup>3</sup>/s, através de 18 adufas de seção retangular, 5 x 7m. (foto 15) situadas a 25,80 m abaixo da crista do vertedor.

A abertura superior de cada ranhura dos stoplogs, utilizada para o fechamento das referidas adufas, foi tamponada para evitar, segundo os estudos em modelo reduzido, a formação de vórtices que propiciariam uma redução da capacidade de vazão, durante a afluência de cheias excepcionais. (foto 6)

. Durante o desvio do rio houve um significativo transporte de material sólido na bacia de dissipação de energia, que provocou danos posteriormente reparados.



Foto 15 - Adufas de Desvio do Rio em Marimbondo





Primeira Fase de Desvio de Peixe Angical

$$Q_{25} = 13.061 \text{ m}^3/\text{seg}$$