

CONJUNTO EXTRAVASOR

FICHA TÉCNICA DA USINA DE IGARAPAVA

Minas Gerais

ORÇAMENTO

- Original (em 24/07/94) US\$ 270 milhões

RESERVATÓRIO

- Área de Inundação 36,51 km²
- Capacidade 234,5 x 10⁶ m³ de água

BARRAGENS DE TERRA

- Comprimento 740 metros, na margem direita
125 metros, na margem esquerda
- Largura da Crista 10 metros, em ambas as margens
- Altura Máxima 32 metros, na margem direita
10 metros, na margem esquerda

VERTEDOIRO

- Tipo	Superfície
- Dissipação	Por ressalto
- Comportas	06 unidades
- Comprimento	123 metros
- Largura de cada vão	13,5 metros
- Altura das Comportas	18,15 metros
- Bacia de Dissipação	60 metros

TOMADA D'ÁGUA

- Tipo	Bloco de Gravidade
- Tipo de Comportas	Ensecadeira (stoplogs)
- Altura da Estrutura	45,6 metros (máxima)
- Largura de Cada Bloco	18 metros
- Comprimento total	90 metros

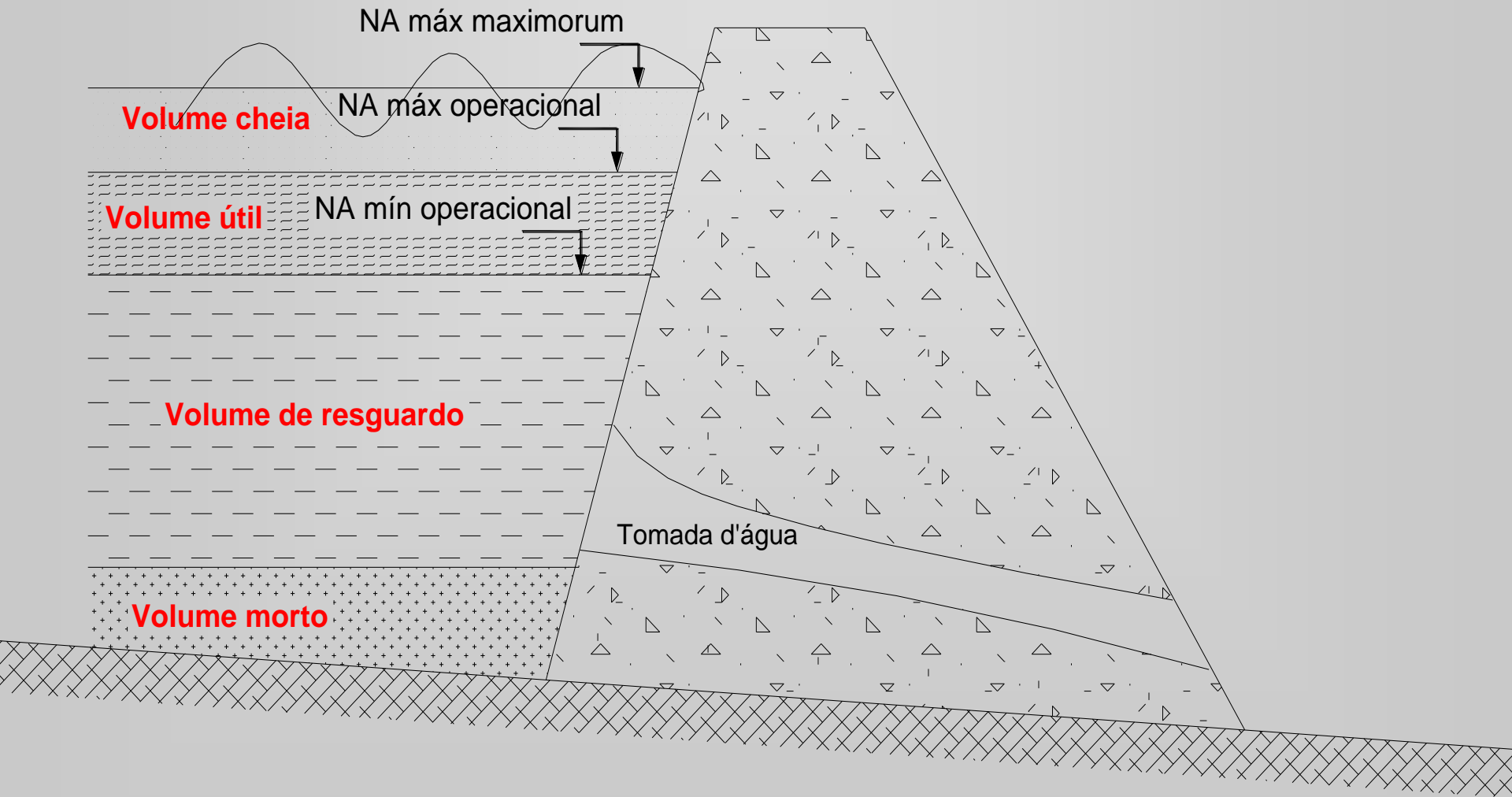
CASA DE FORÇA

- Comprimento	90 metros
- Turbinas / Geradores	05 unidades tipo "Bulbo"
- Potência nom. Gerador	44,2 MVA
- Velocidade de Rotação	112,5 rpm
- Vazão nom. por turbina	275 m ³ /s
- Fator de Potência	0,95
- Tensão Nominal	6,9 kV
- Freqüência	60 Hz
- Subestação	SF.6 Blindada

ENERGIA

- Potência Instalada	210,0 MW
- Energia Firme	129,7 MW médios
- Queda Bruta Máxima	18,30 metros

São Paulo



COMPONENTES

- Canal de aproximação
- Estrutura de controle
- Estrutura de condução
- Estrutura de dissipação
- Canal de restituição

Canal de Aproximação

- Conduz a água do reservatório à estrutura de controle
- Geometria do canal - coeficiente de vazão
- Velocidades
- Transições





Estruturas de controle

Relações carga e vazão

$$Q = C_Q LH^{3/2}$$

Q - vazão de cheia (associada ao período de retorno T)

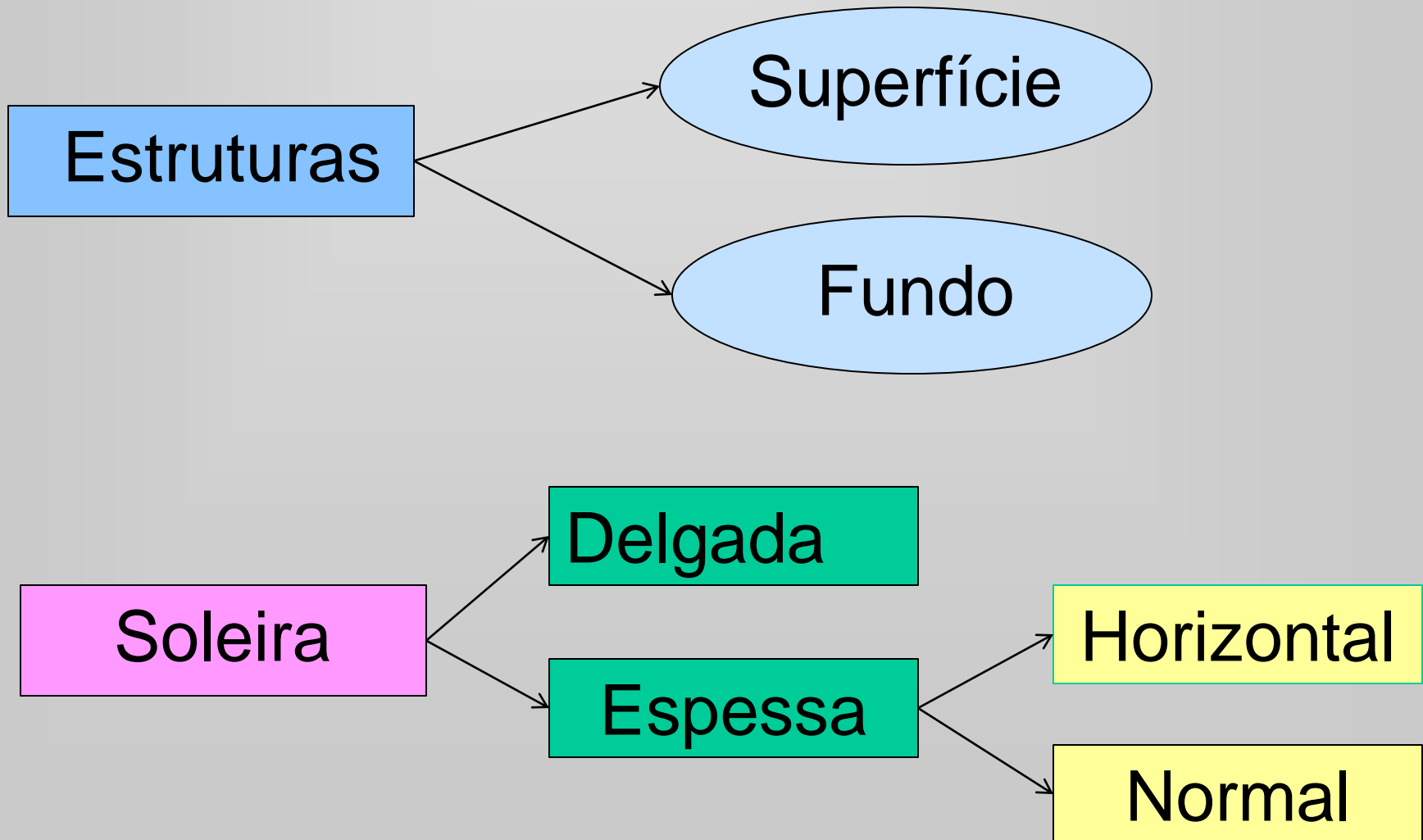
C_Q – coeficiente de vazão

L – largura do vertedor (comprimento da soleira)

H – carga sobre o vertedor

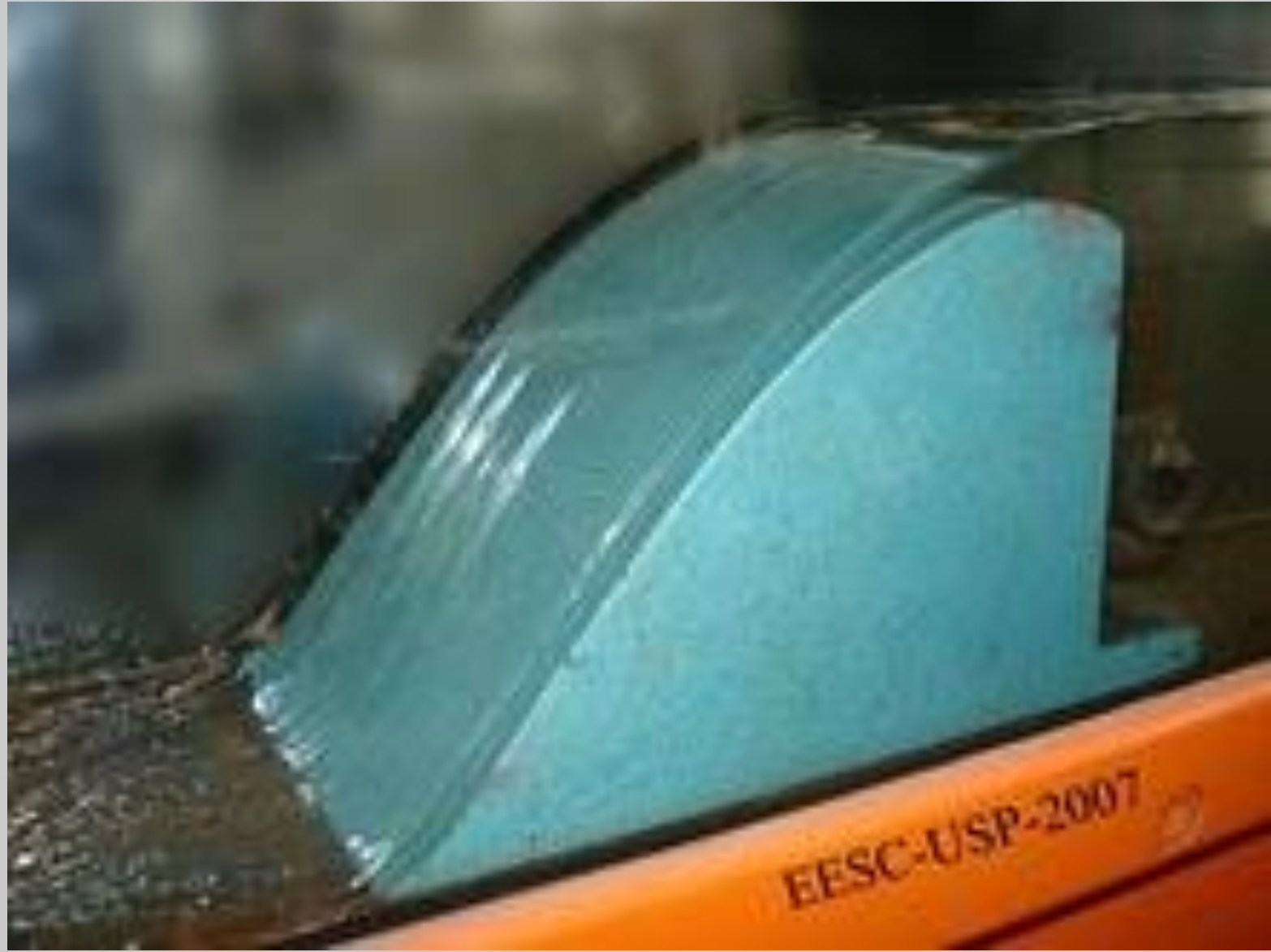
Estruturas de controle

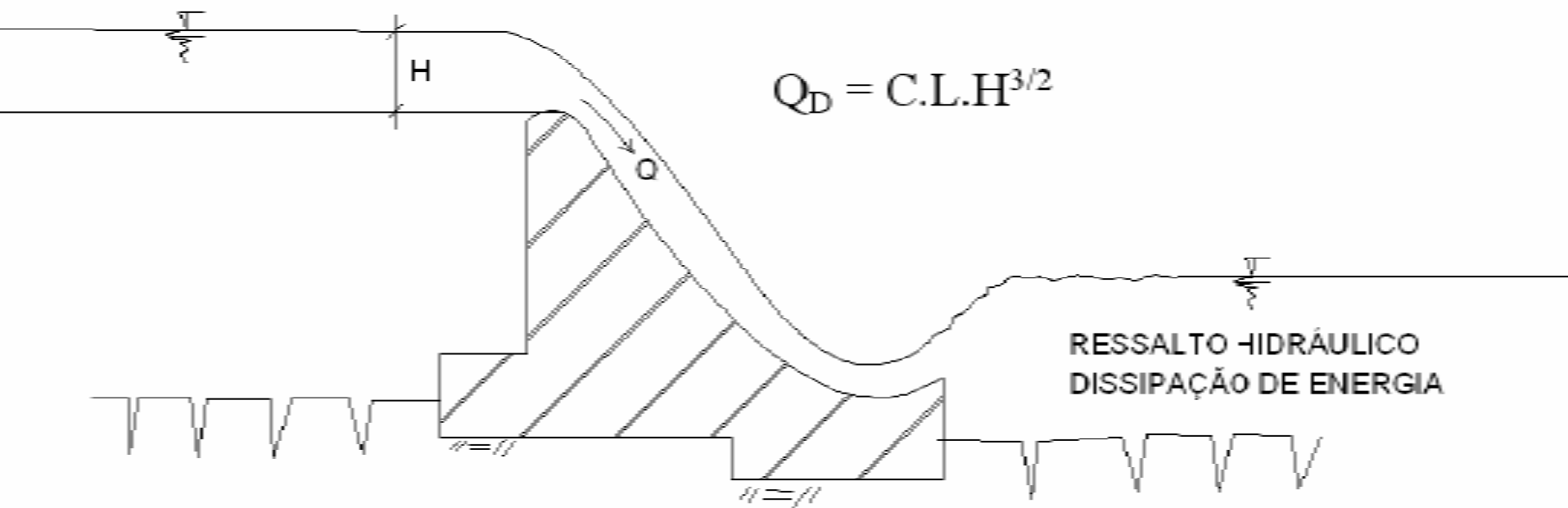
C_Q – depende do tipo da estrutura, forma, ...

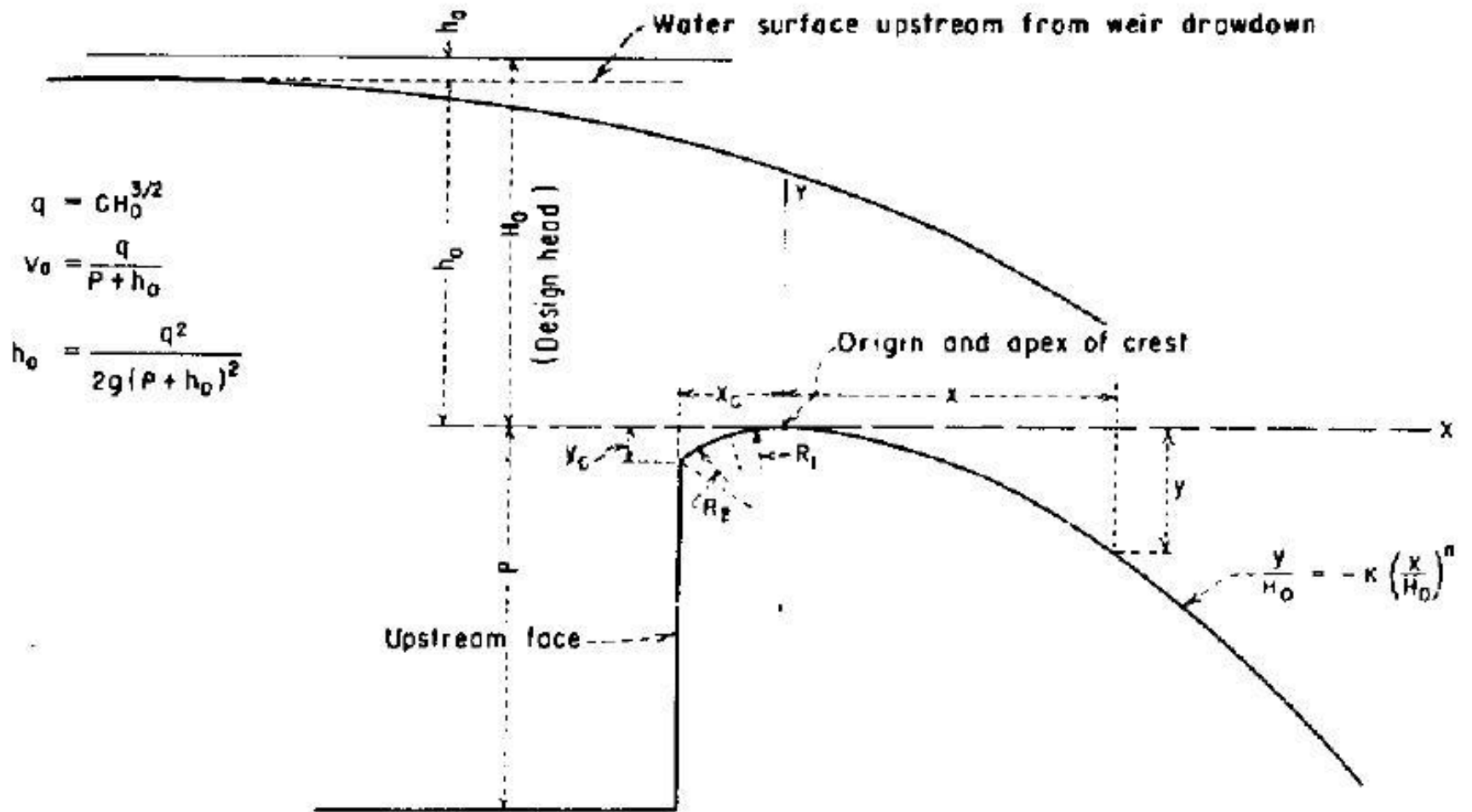


VERTEDORES DE SUPERFÍCIE

- Queda livre – gabiões , alvenaria de pedra argamassada
- Soleira Normal
 - forma de “S”
 - Forma da parte inferior veia líquida – p atm
 - Dimensionamento – carga de projeto
 - $Q = CLH^{3/2}$



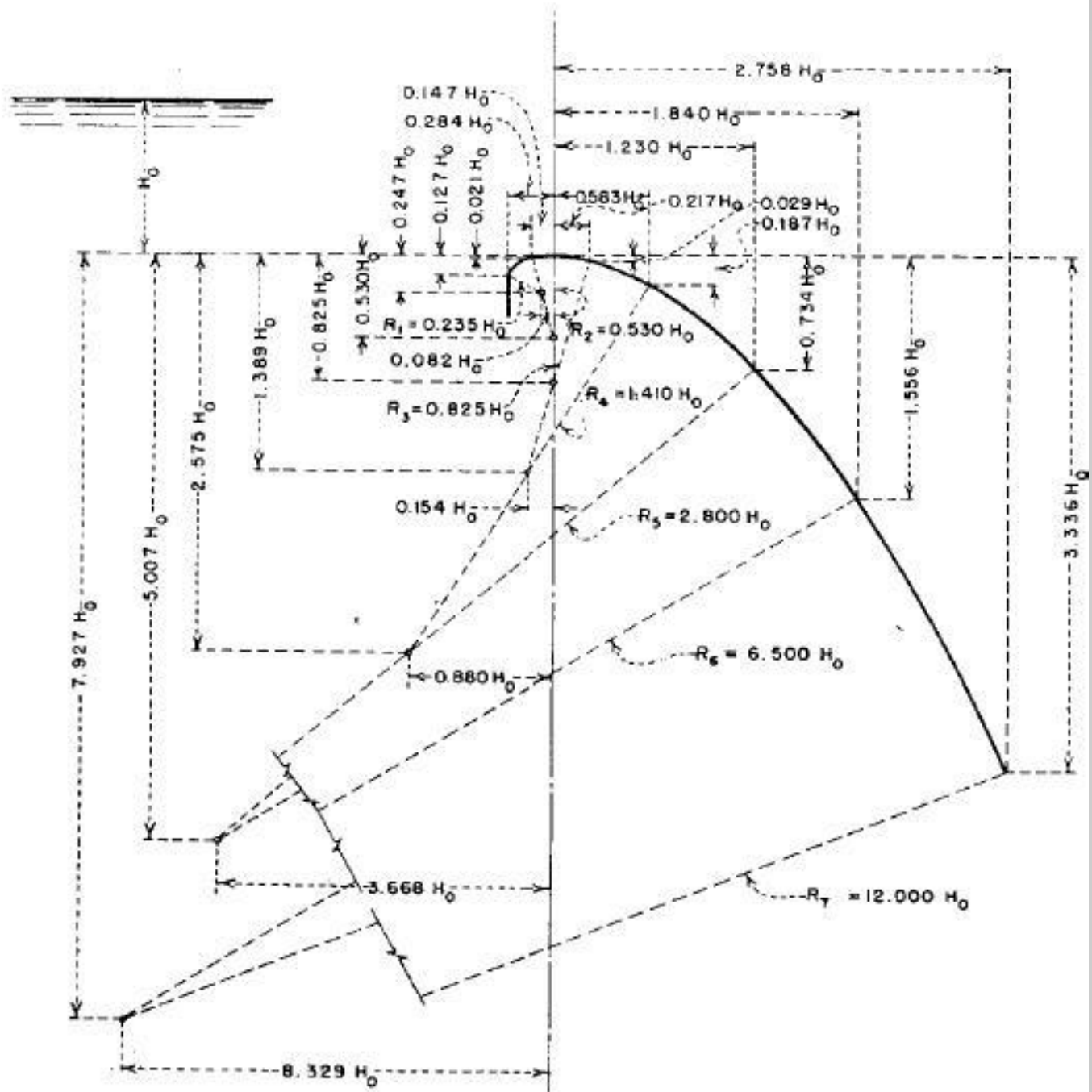




$$q = CH_0^{3/2}$$

$$v_0 = \frac{q}{P + h_0}$$

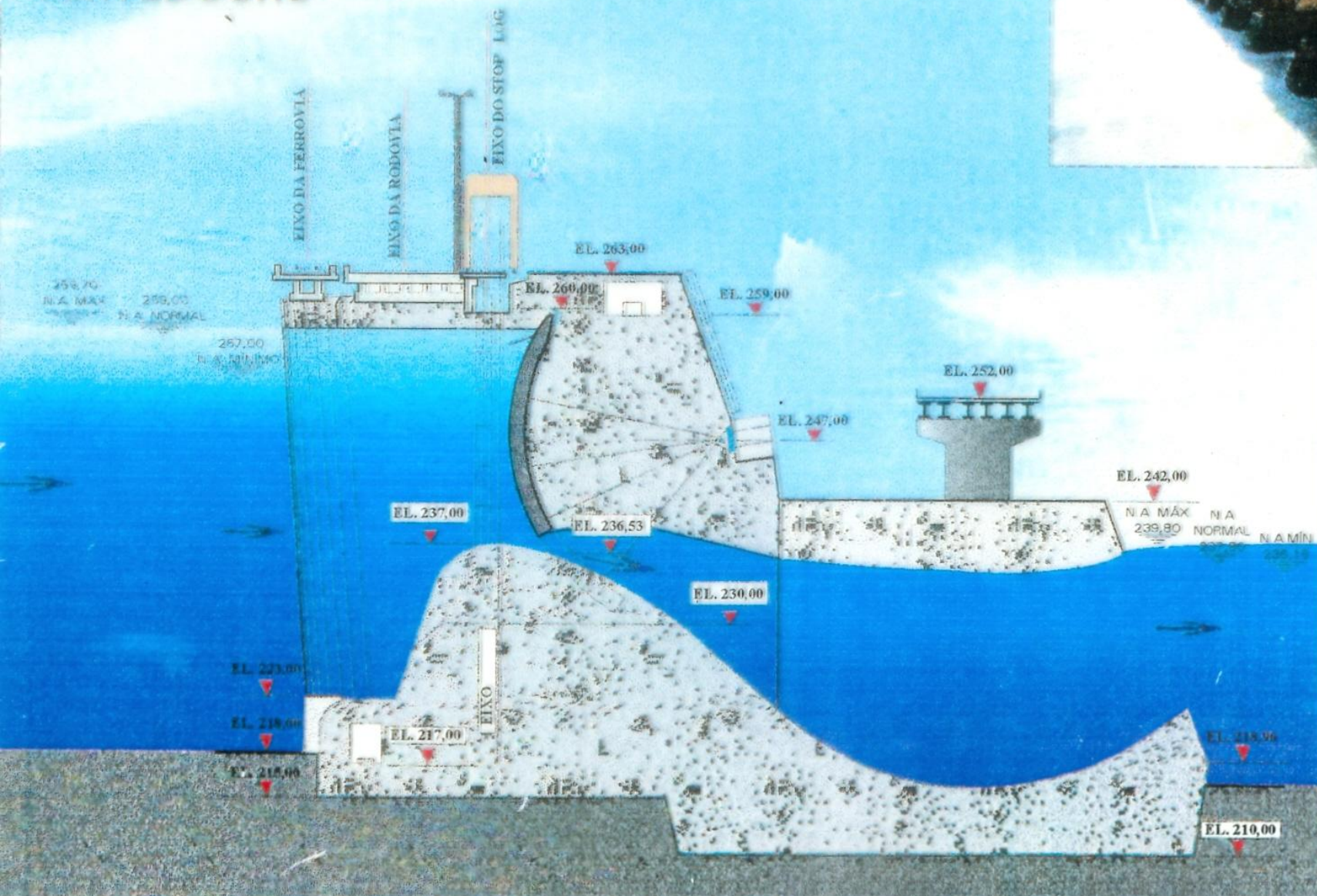
$$h_0 = \frac{q^2}{2g(P + h_0)^2}$$



- C_Q – coeficiente de vazão; depende da profundidade do canal de aproximação, da carga sobre a soleira, da geometria do paramento a montante e do NA a jusante
- Vertedor com comportas – escoamento por orifício; depressões.

SEÇÕES TÍPICAS

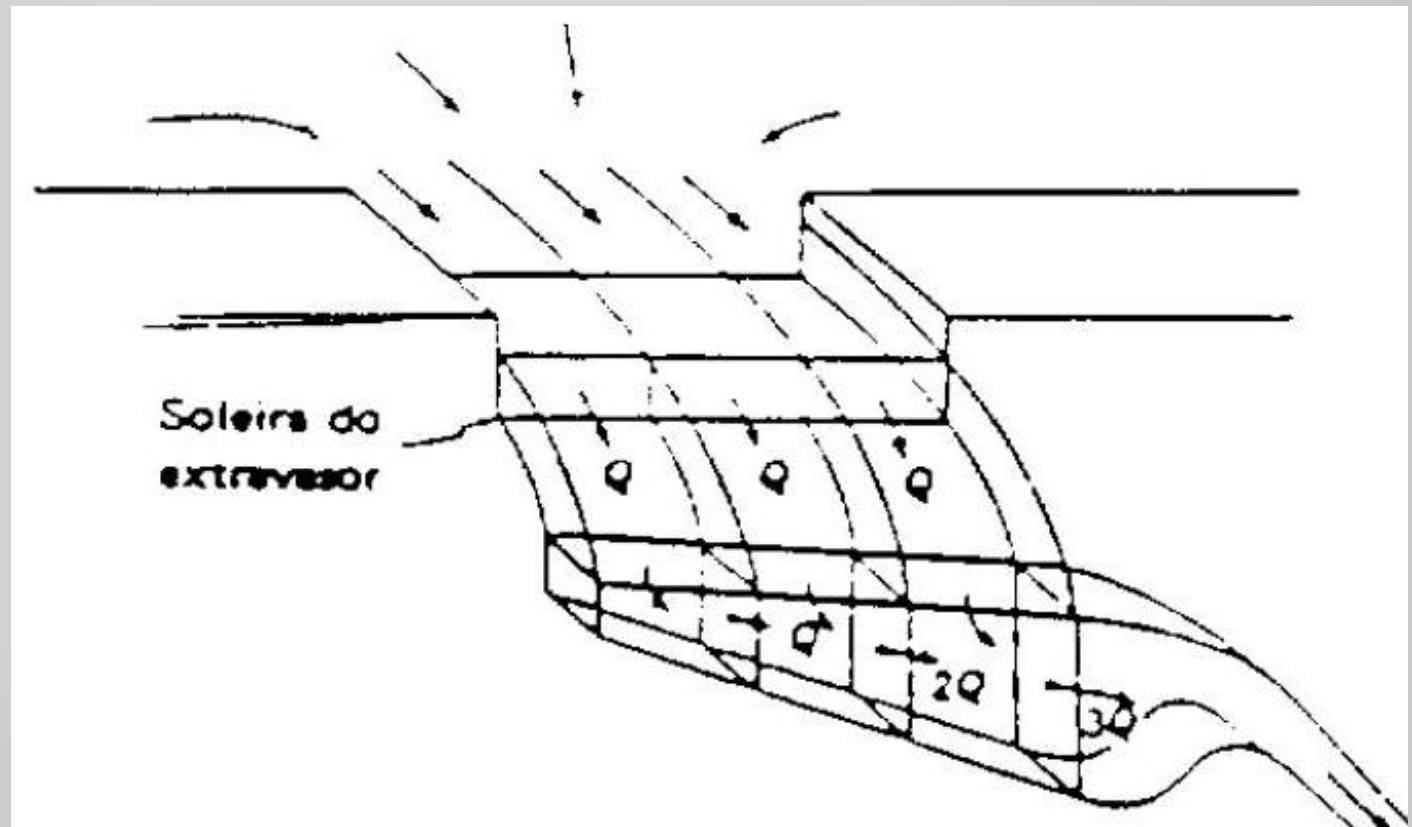
VERTEDOURO





- Vertedor canal lateral

- Capacidade de vazão do vertedor e do canal







- Vertedor tulipa

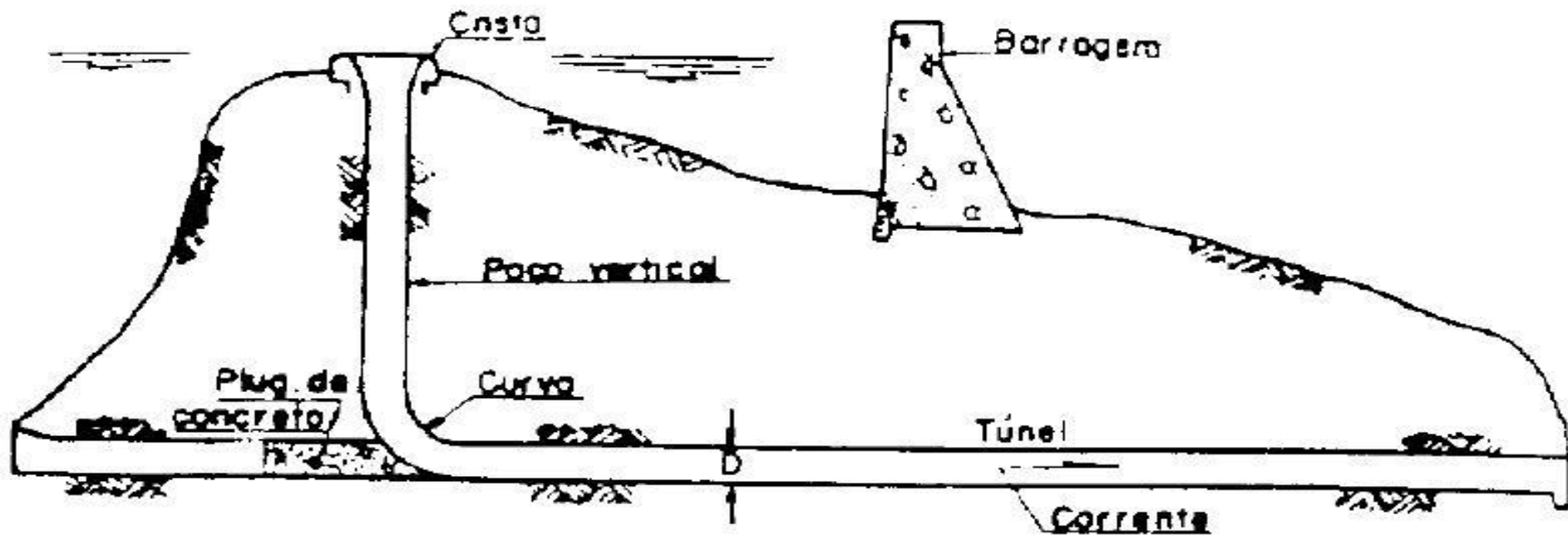
- Estrutura de controle horizontal e circular, poço vertical e conduto ou túnel com baixa declividade
- Controle variável conforme a carga



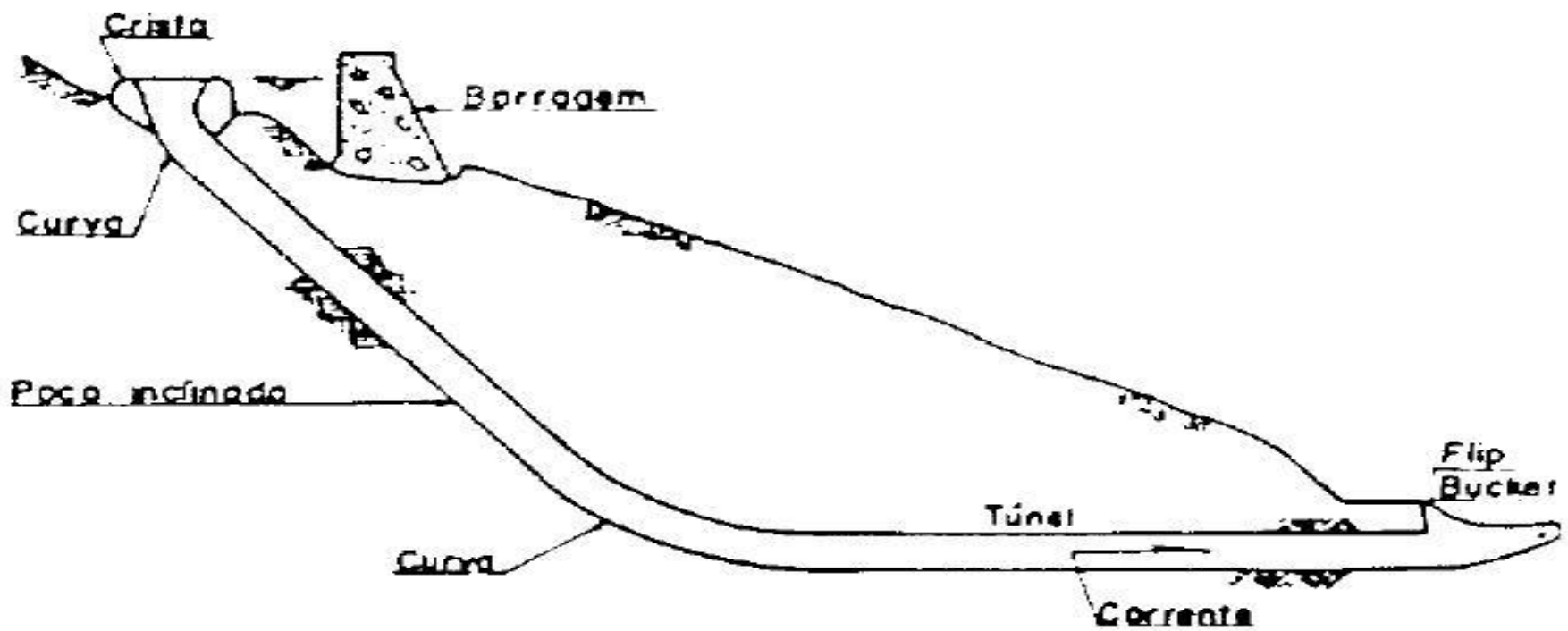








Vertedor tulipa com poço vertical



Vertedor tulipa com poço inclinado

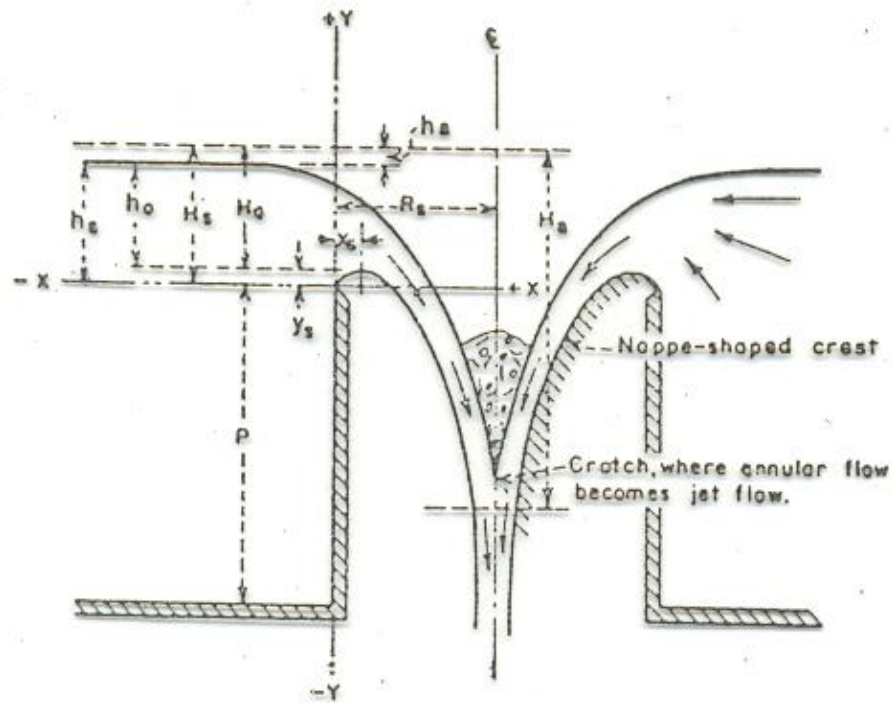


Fig. 3 - Elementos de uma seção com a forma da lâmina vertente para uma soleira circular

Descarregador de fundo



Descarregador de fundo



Estruturas de condução

- função de conduzir a água até as estruturas de dissipação



Estruturas de dissipação

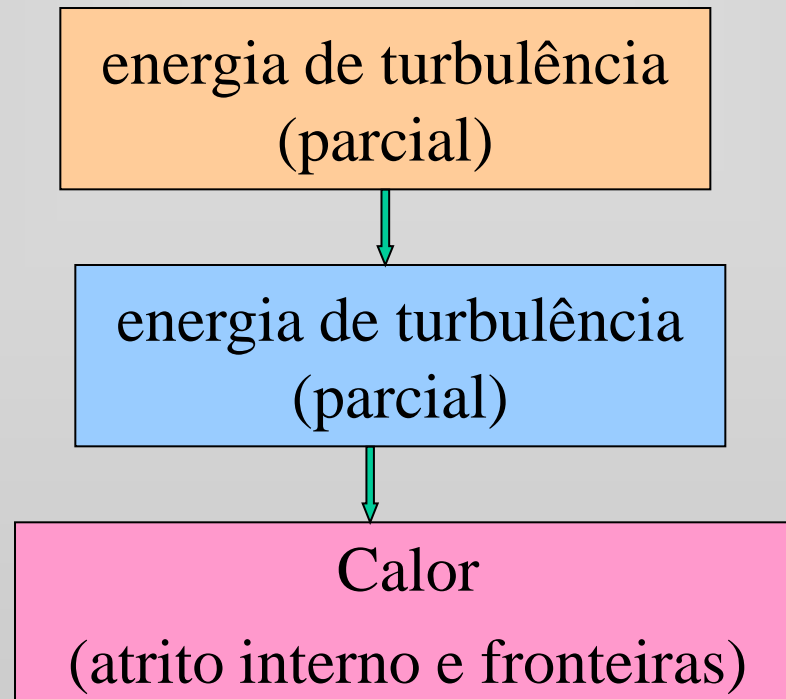
Projetadas para permitir que o escoamento retorne ao curso d'água com as condições mais próximas do original

Canal de restituição

Dissipação de energia

- Aproveitamentos de pequeno, médio ou grande porte
- Alta energia cinética
 - erosão a jusante
 - estabilidade da obra
 - dissipação

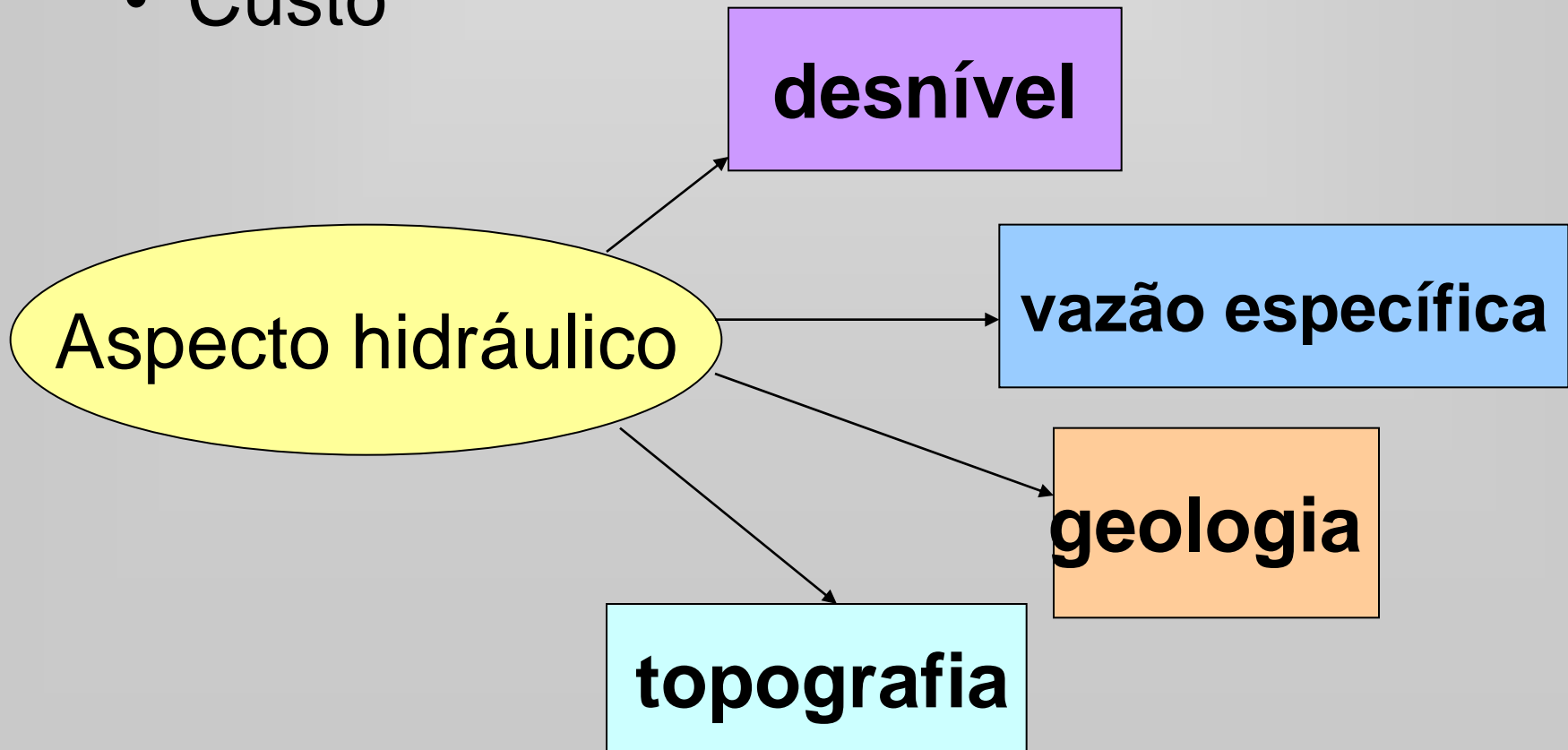
Física do processo de dissipação de energia



Eficiência: determinada pelo escoamento a jusante

Escolha da estrutura de dissipação:

- Eficiência hidráulica
- Custo



Concepção de estruturas de dissipação de energia

- estruturas que dissipam em seu interior grande parte da energia
- estruturas concebidas para dissipar em seu interior apenas parte da energia, e o restante será dissipada ao longo do leito a jusante
- estruturas projetadas para lançar o escoamento proveniente do vertedor

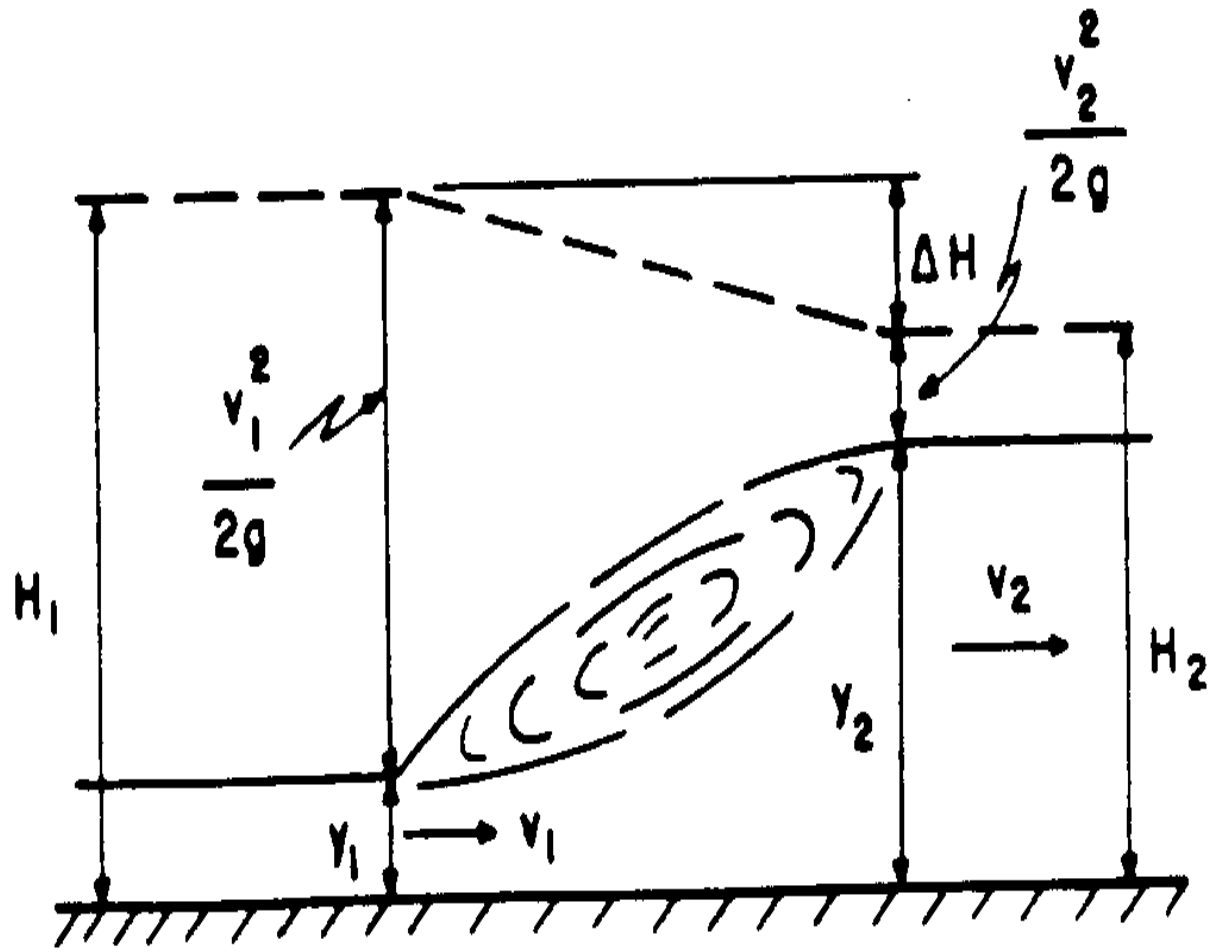
Bacias de dissipação com ressalto hidráulico

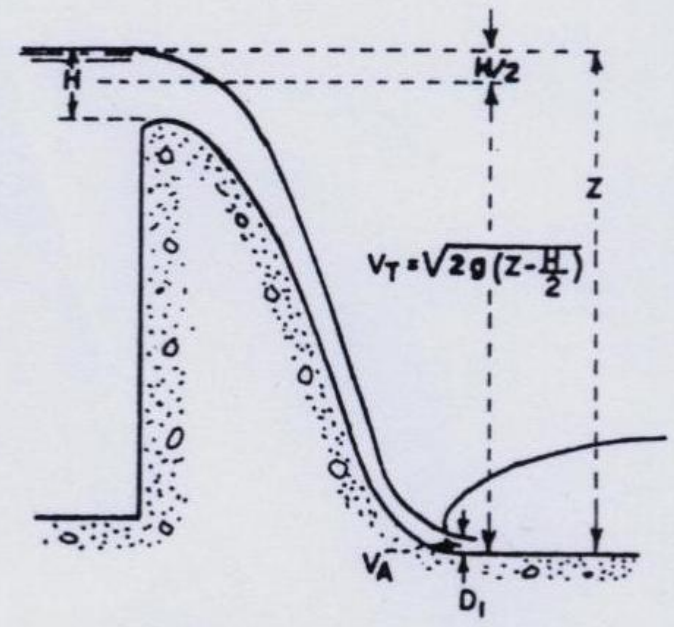
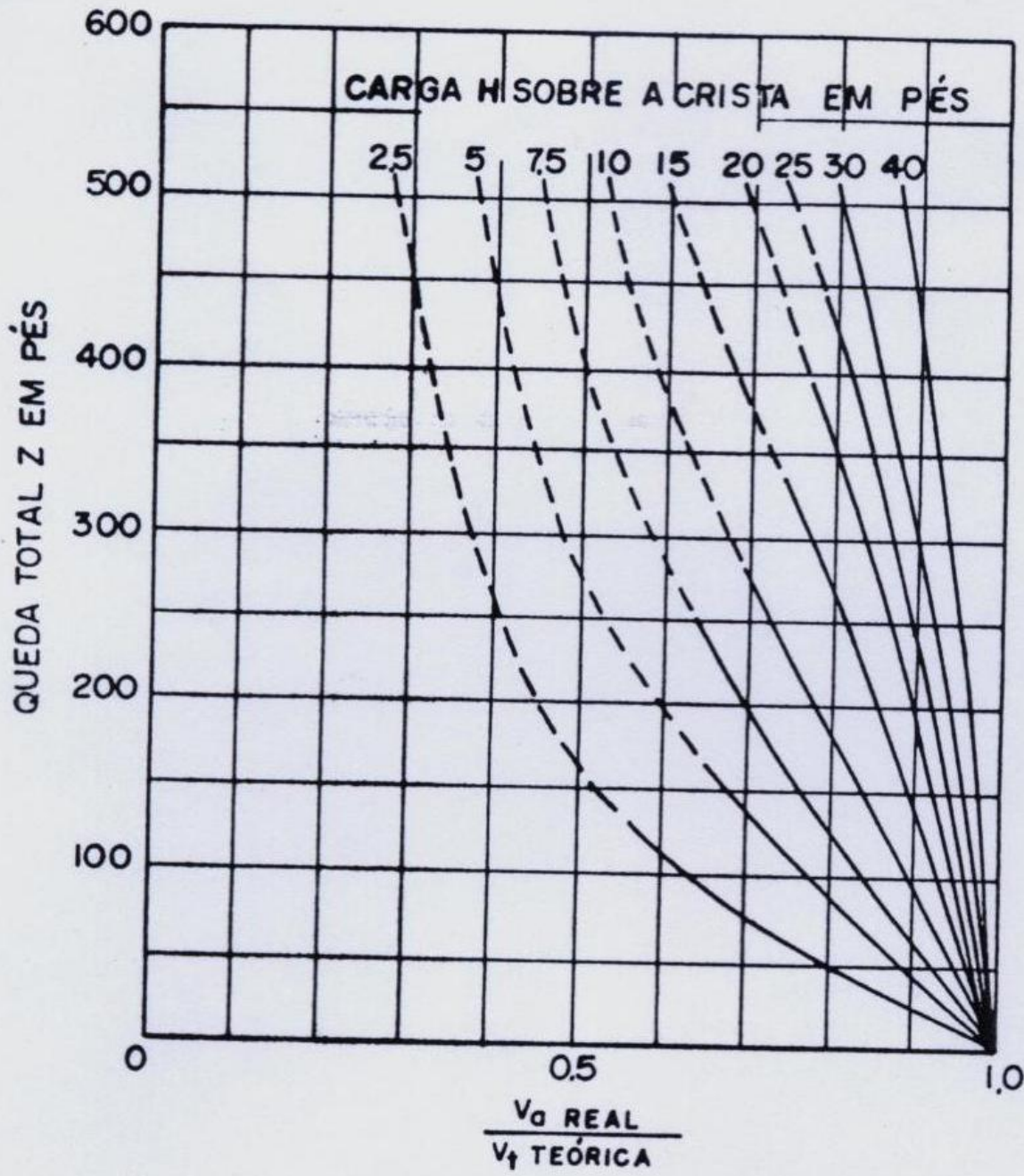
Característica do ressalto:

- grande turbulência no escoamento e conseqüentemente uma intensa dissipação de energia
- profundidades conjugadas

Estruturas de concreto - laje horizontal, com ou sem blocos







Bacias definidas a partir de estudos pelo USBR

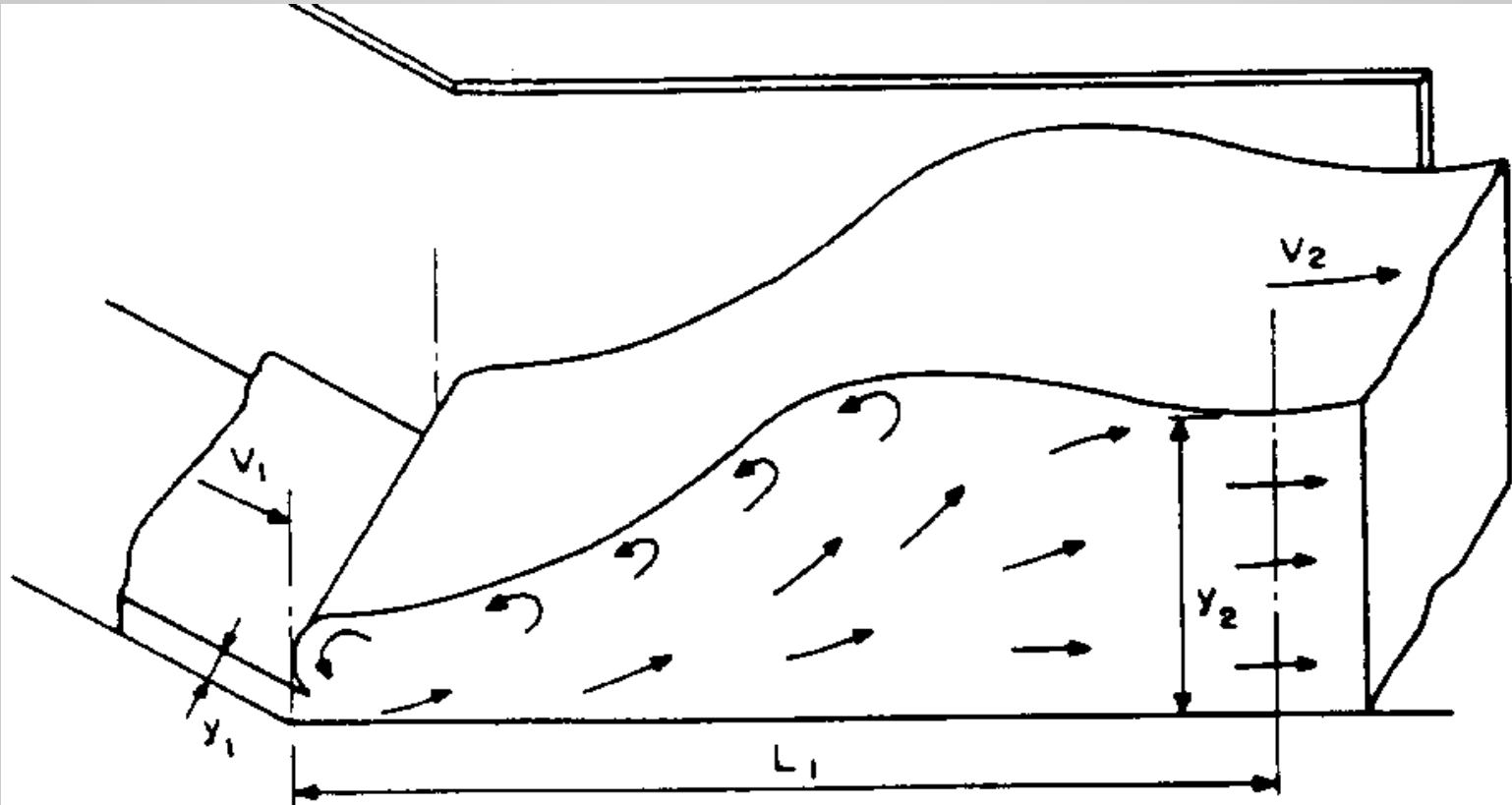
Bacia Tipo I: livre sem blocos.

Bacia Tipo II: com blocos de queda e soleira de saída dentada.

Bacia Tipo III: com blocos de queda, de amortecimento e soleira de saída.

Bacia Tipo IV: com blocos de queda e soleira de saída.

Bacia Tipo I

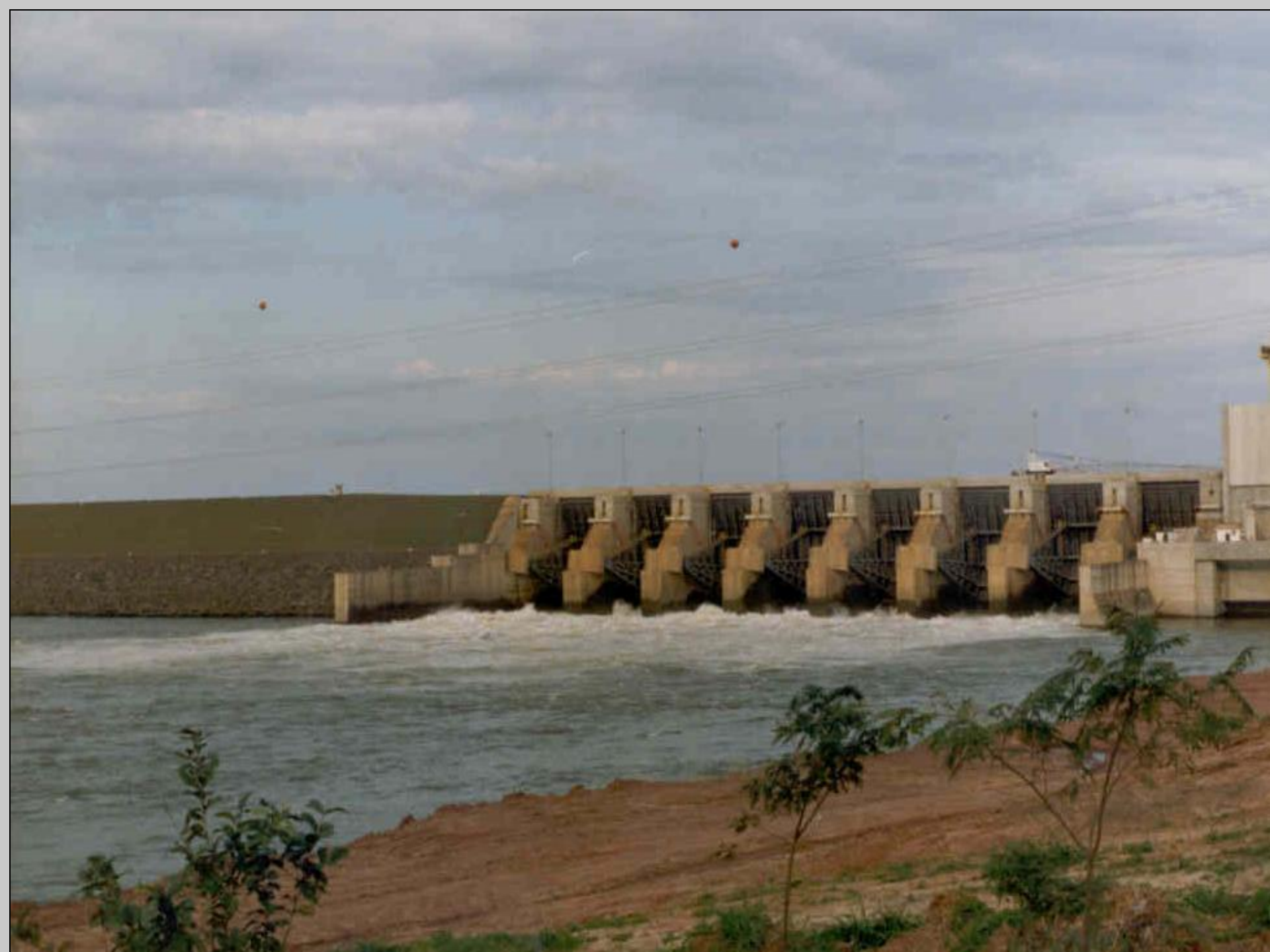




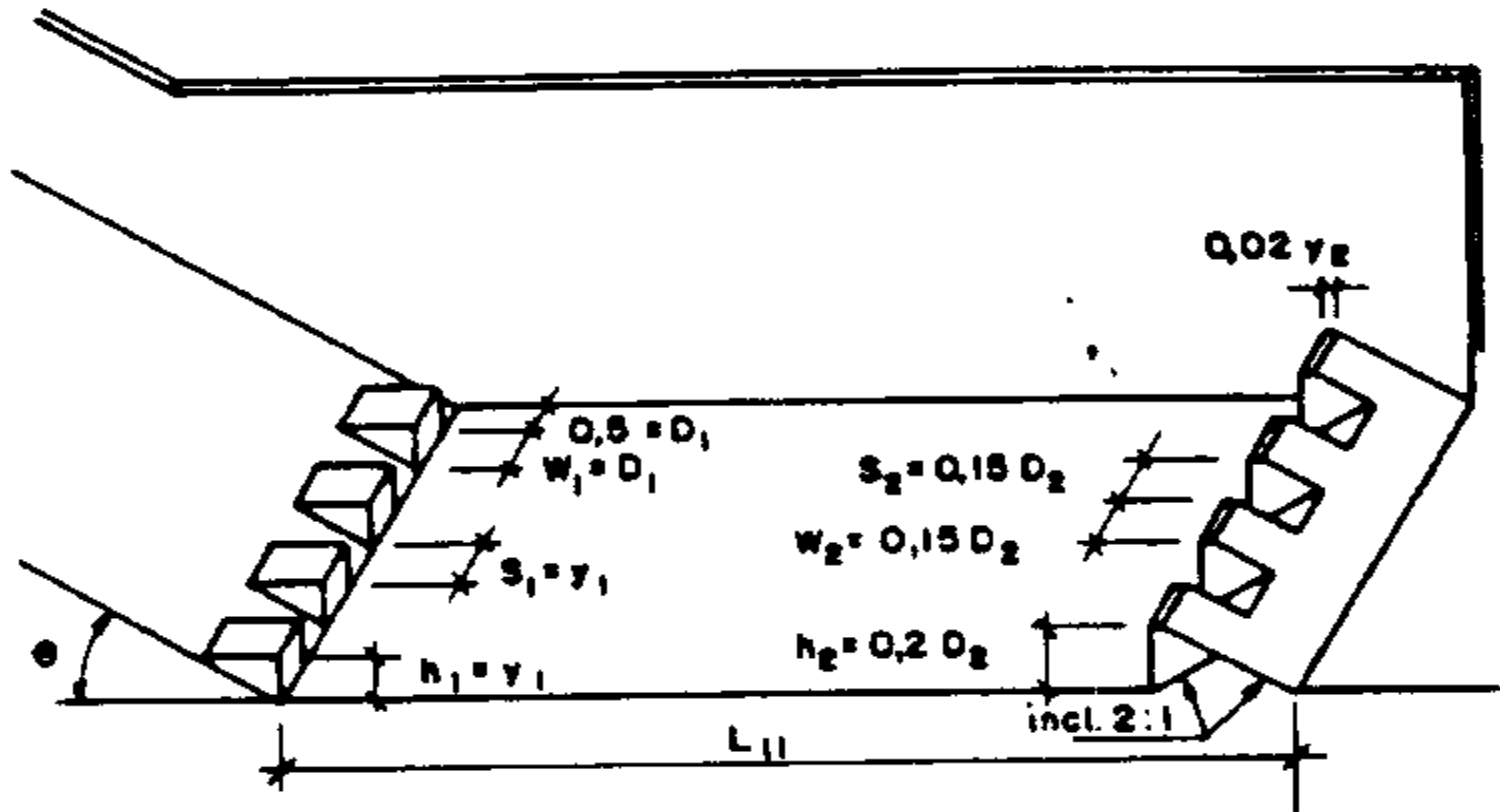
A photograph showing a dam spillway. The structure is painted blue with yellow safety stripes. Water is flowing over the spillway, creating a large amount of white foam and turbulence. The dam is situated in a concrete-lined channel. The background shows a concrete wall and a concrete floor.

VERTEDOR Q-4358

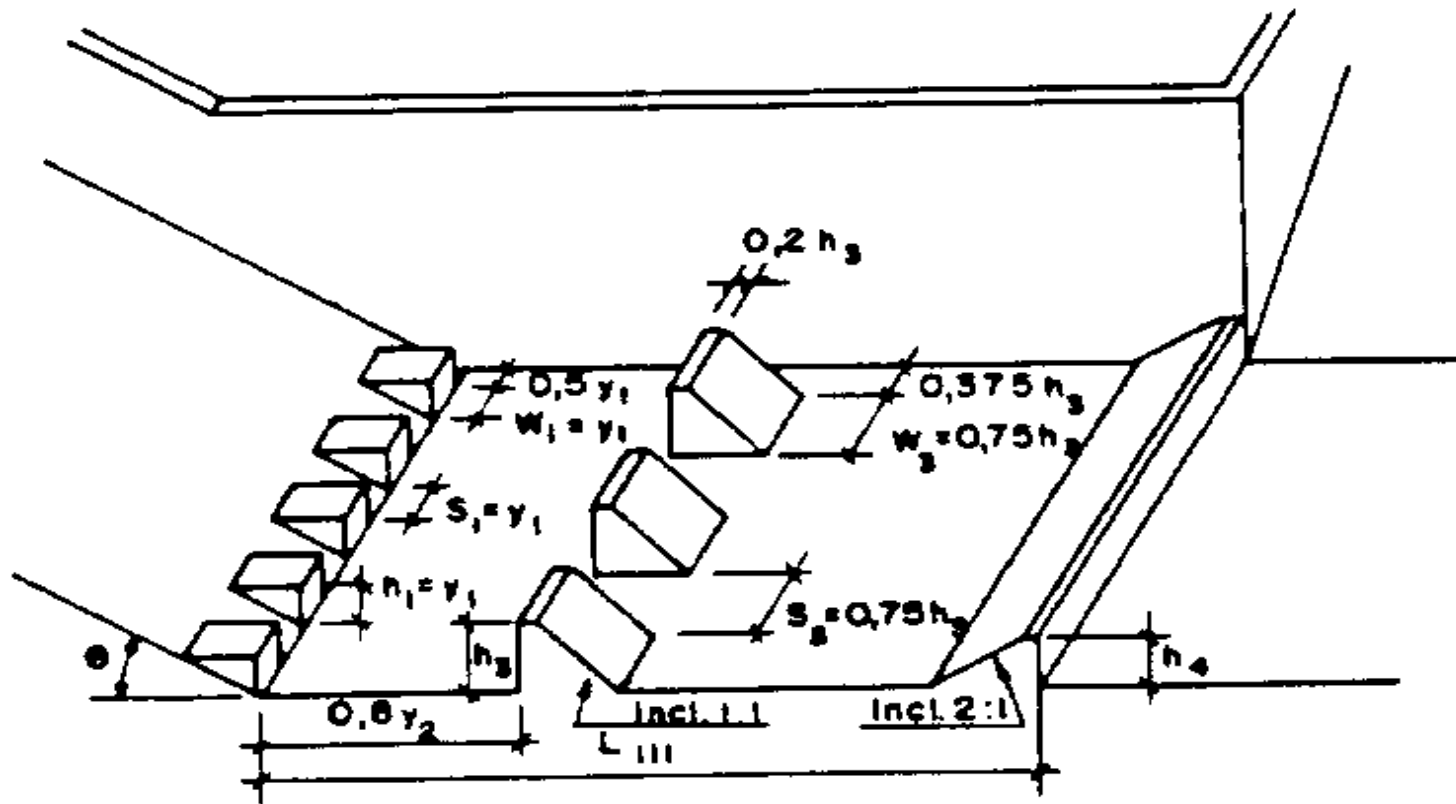
25/8/2000



Bacia Tipo II



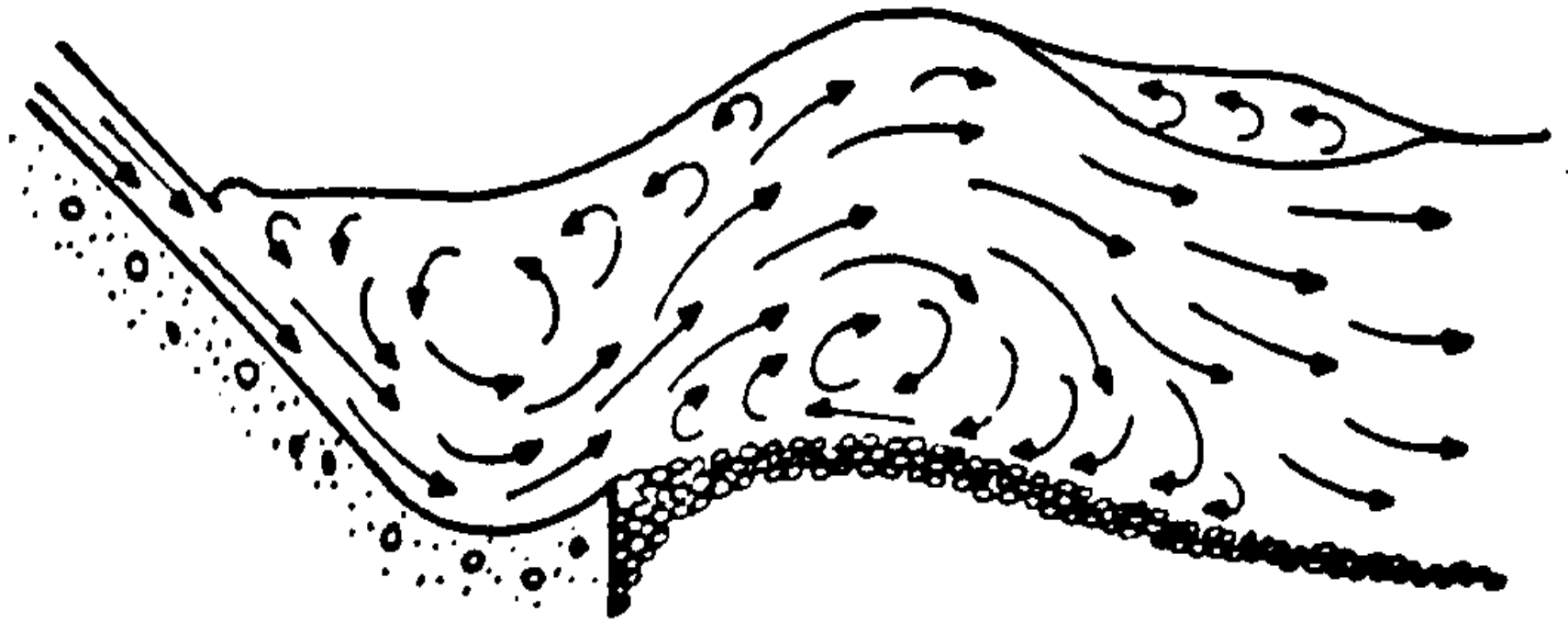
Bacia Tipo III

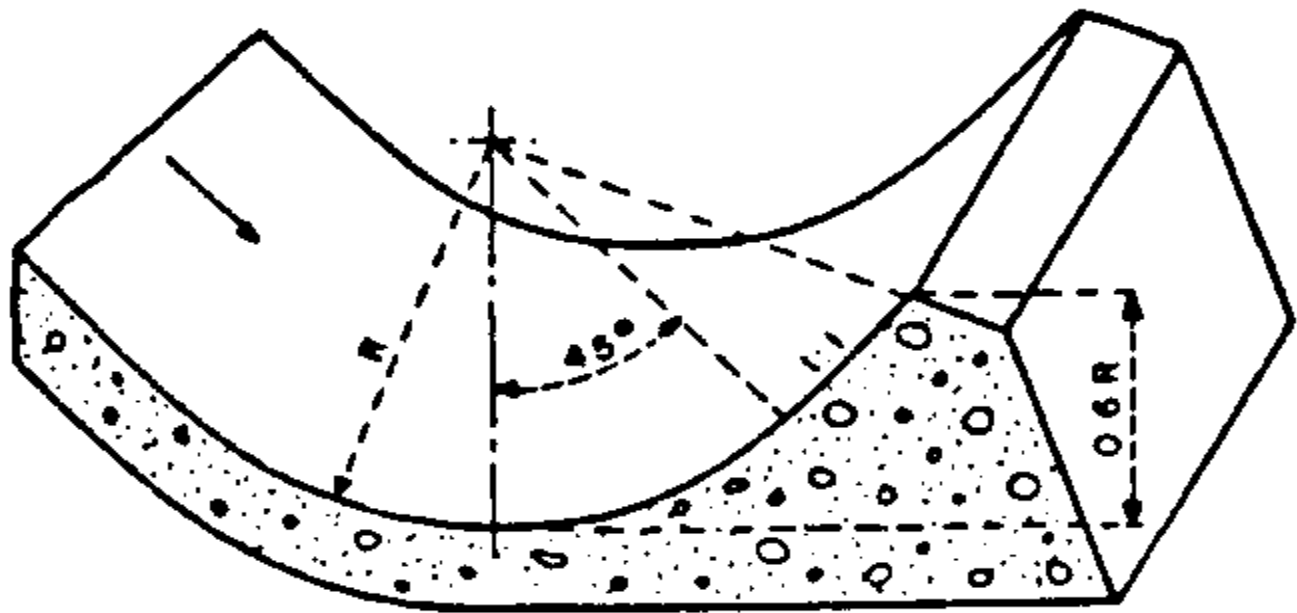


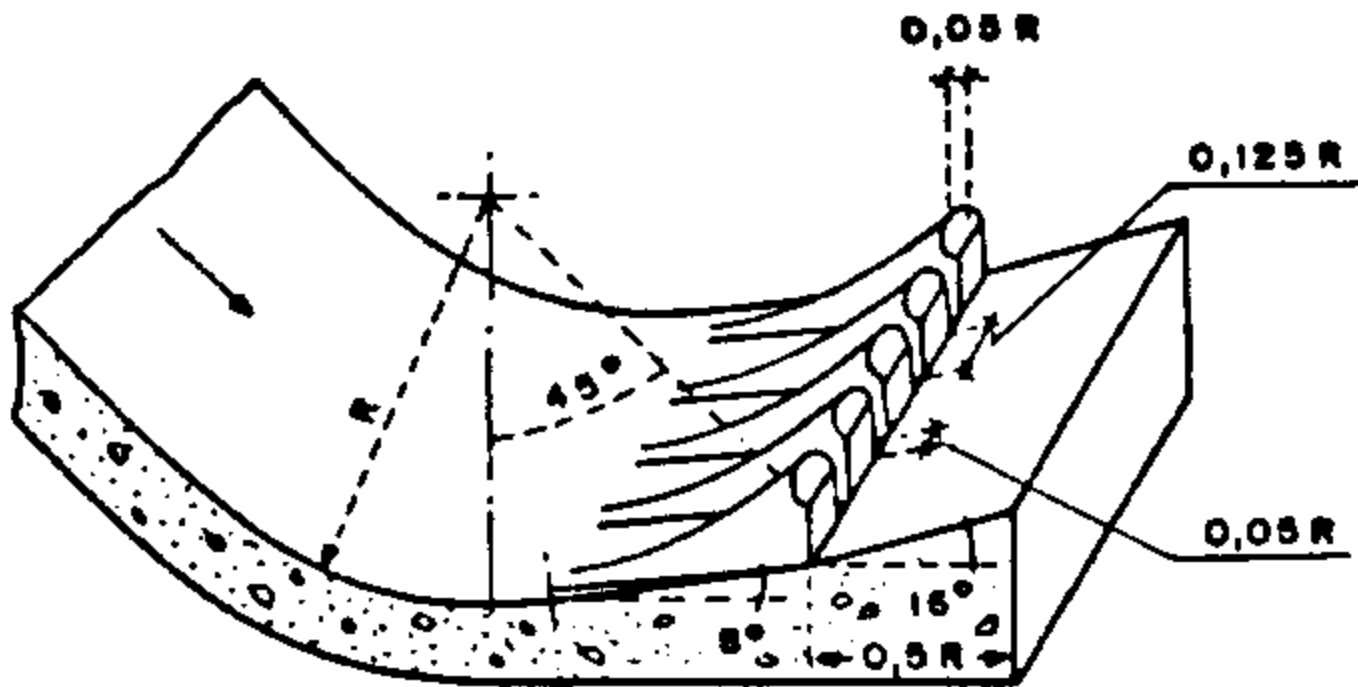


Dissipador em concha - Roller Bucket

- Concha abaixo do leito natural - funcionamento afogado
- Dois grandes “rolos”: um sobre a estrutura e outro no leito natural
- Estrutura compacta, normalmente mais econômica
- Menor índice de dissipação de energia







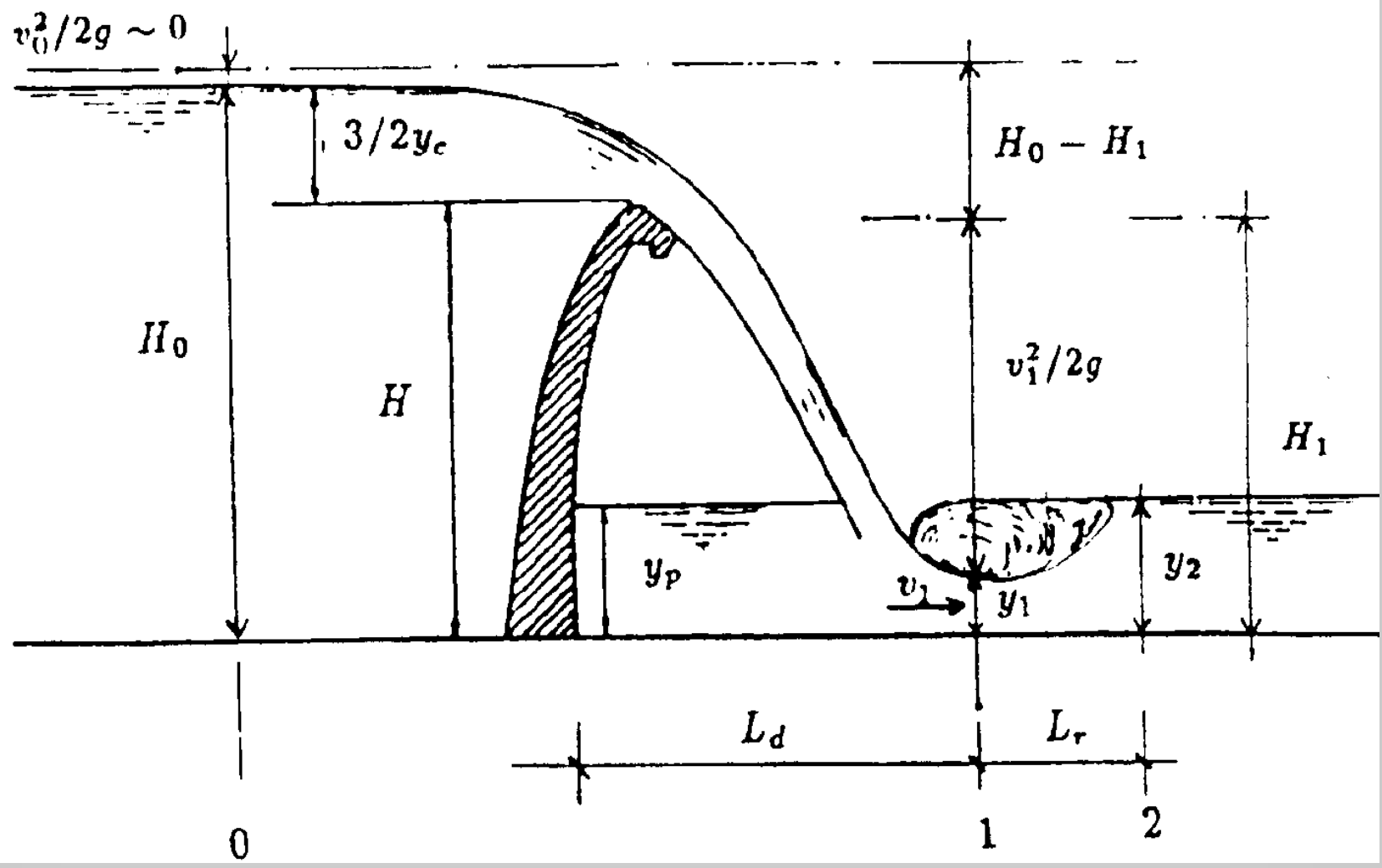
Dissipadores com lançamento do jato

Queda livre

Alta queda e baixa vazão específica

Barragens em concreto

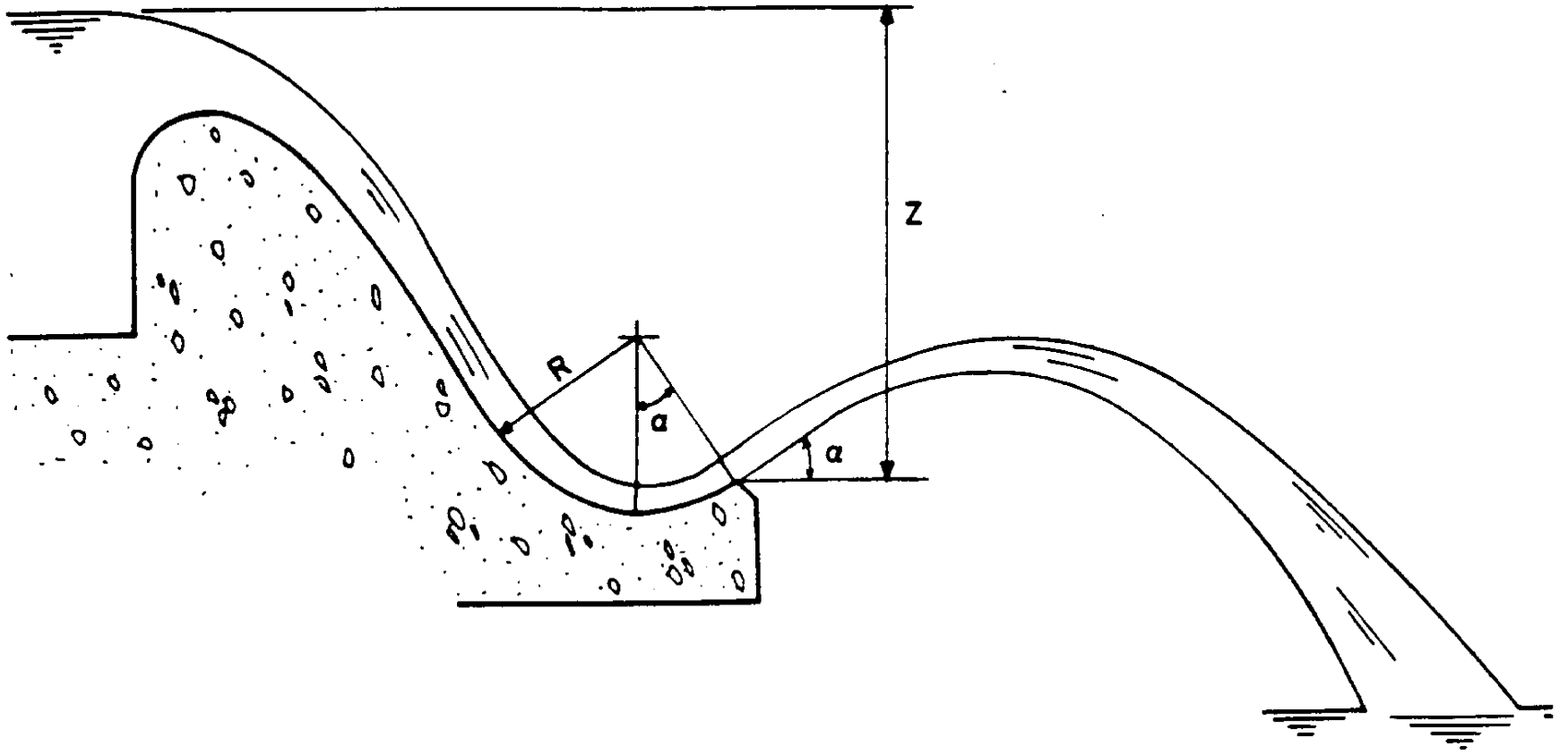
Rochas resistentes





Jato lançado

- escoamento direcionado através de um canal ou túnel, e depois lançado em direção ao leito do rio.
- Diversas formas de lançamento, visando melhores condições de dissipação.
- Estruturas versáteis
- Vazões específicas altas ou baixas \Rightarrow energia para lançar o jato



Tipos de dissipadores com jato lançado

Função de:

- características da superfície lançadora
- forma do lançamento

Salto esqui, concha defletora e trampolim espalhador





UHE Água Vermelha

[Caruachi] 2.280 MW

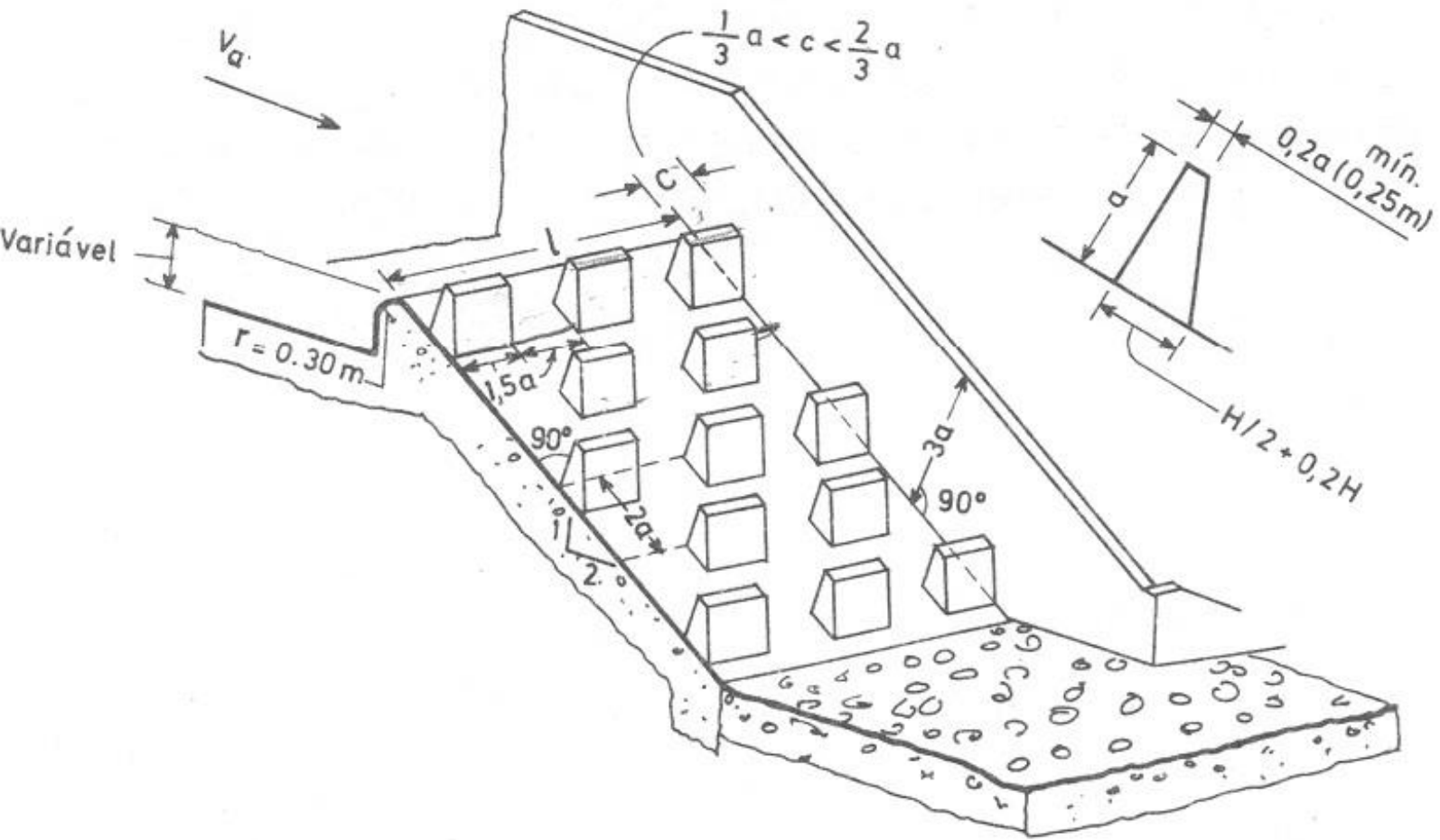


Outros dissipadores

Vertedor em degraus

Rampa dentada

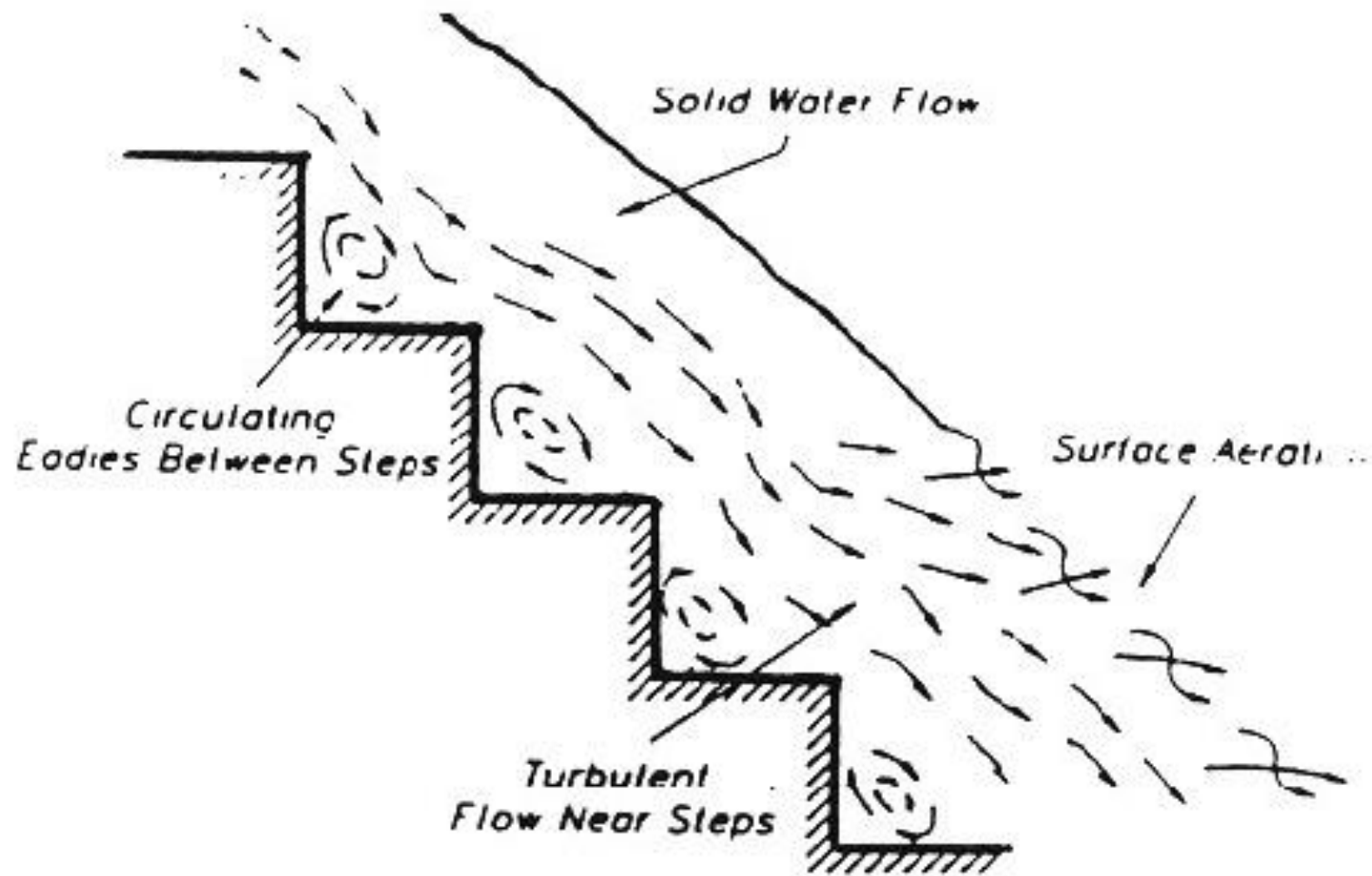
Caixa de dissipação por impacto



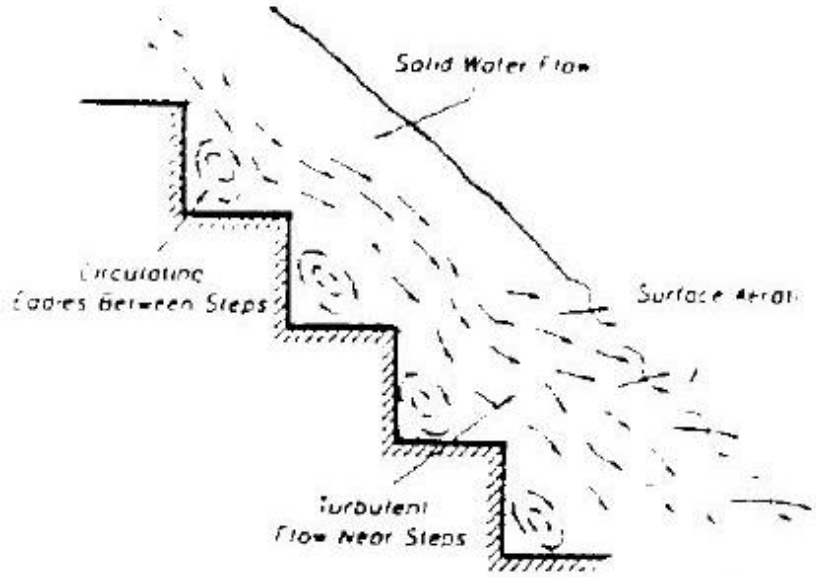


DISSIPADORES EM DEGRAUS

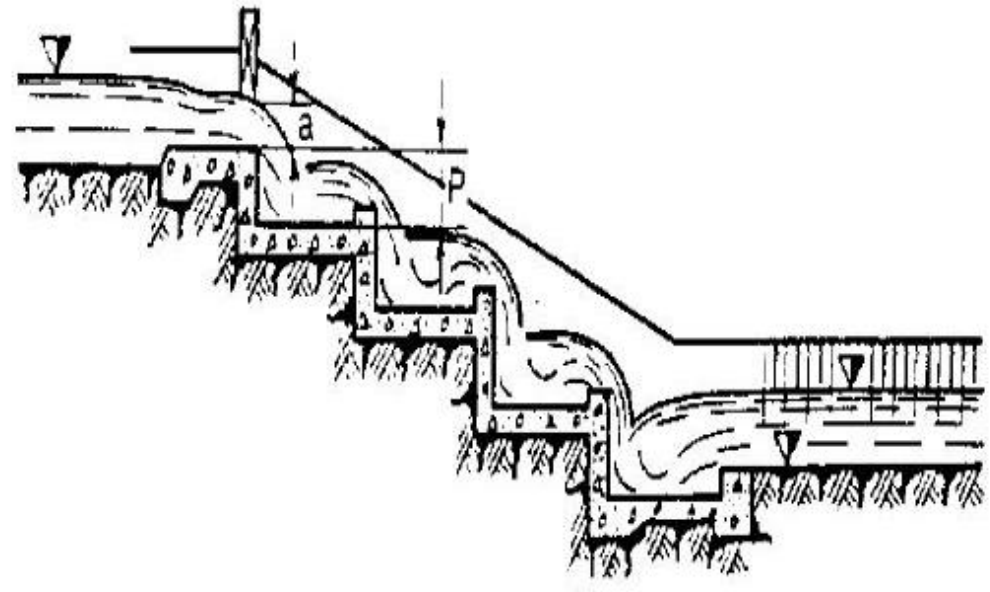
- Só se aplica para os casos em que a barragem é do tipo CCR - Concreto Compactado a Rolo.
- A vantagem em relação aos casos anteriores é que, teoricamente, dispensa o dissipador de energia.
- A desvantagem é que só se pode operar para vazões específicas baixas - $q < 12\text{m}^3/\text{s.m}$
- A utilização de uma lâmina de água no pé da estrutura para auxiliar na dissipação de energia é desejável



- Stepped spillway flow conditions.

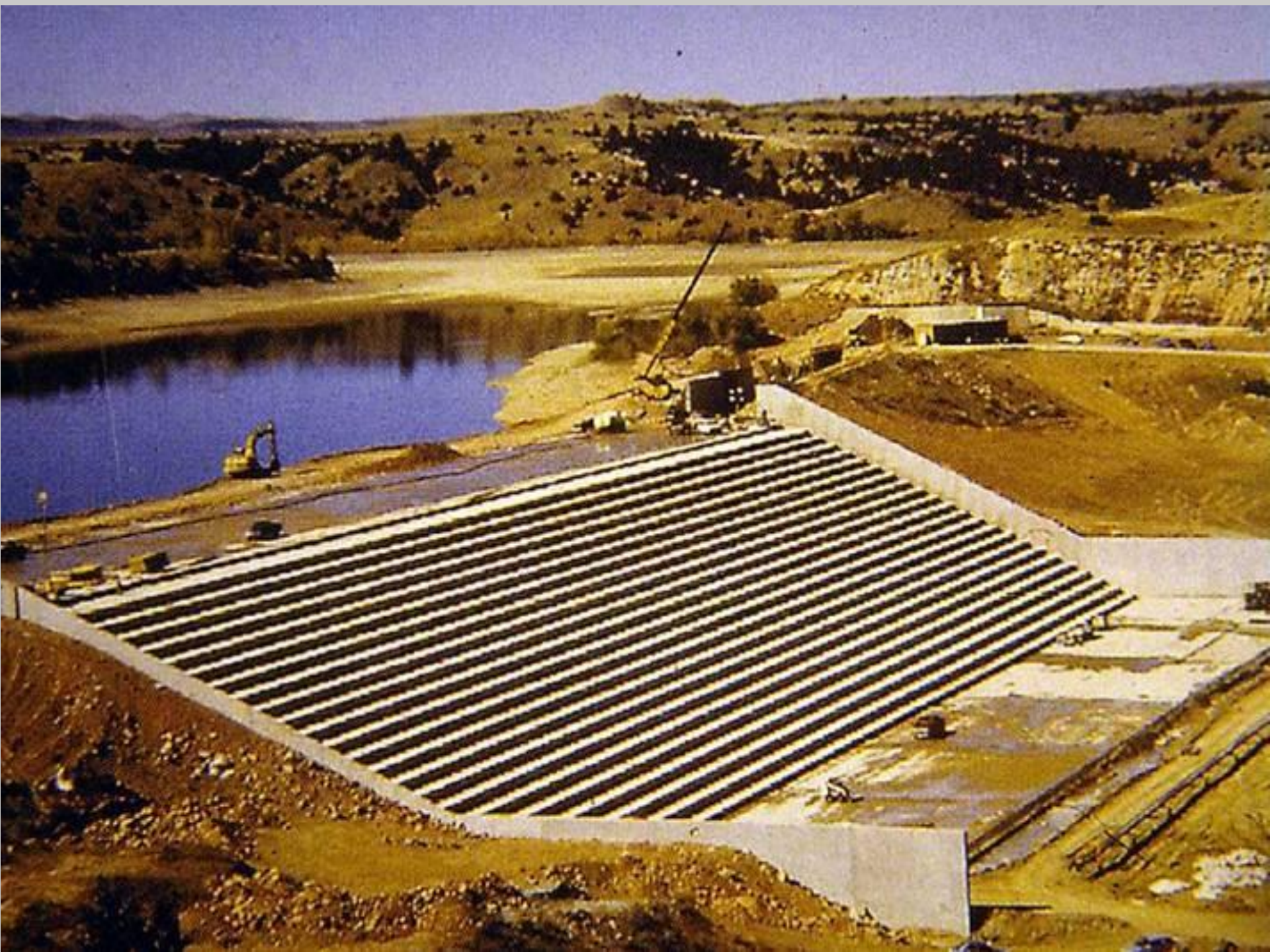


- Stepped spillway flow conditions.

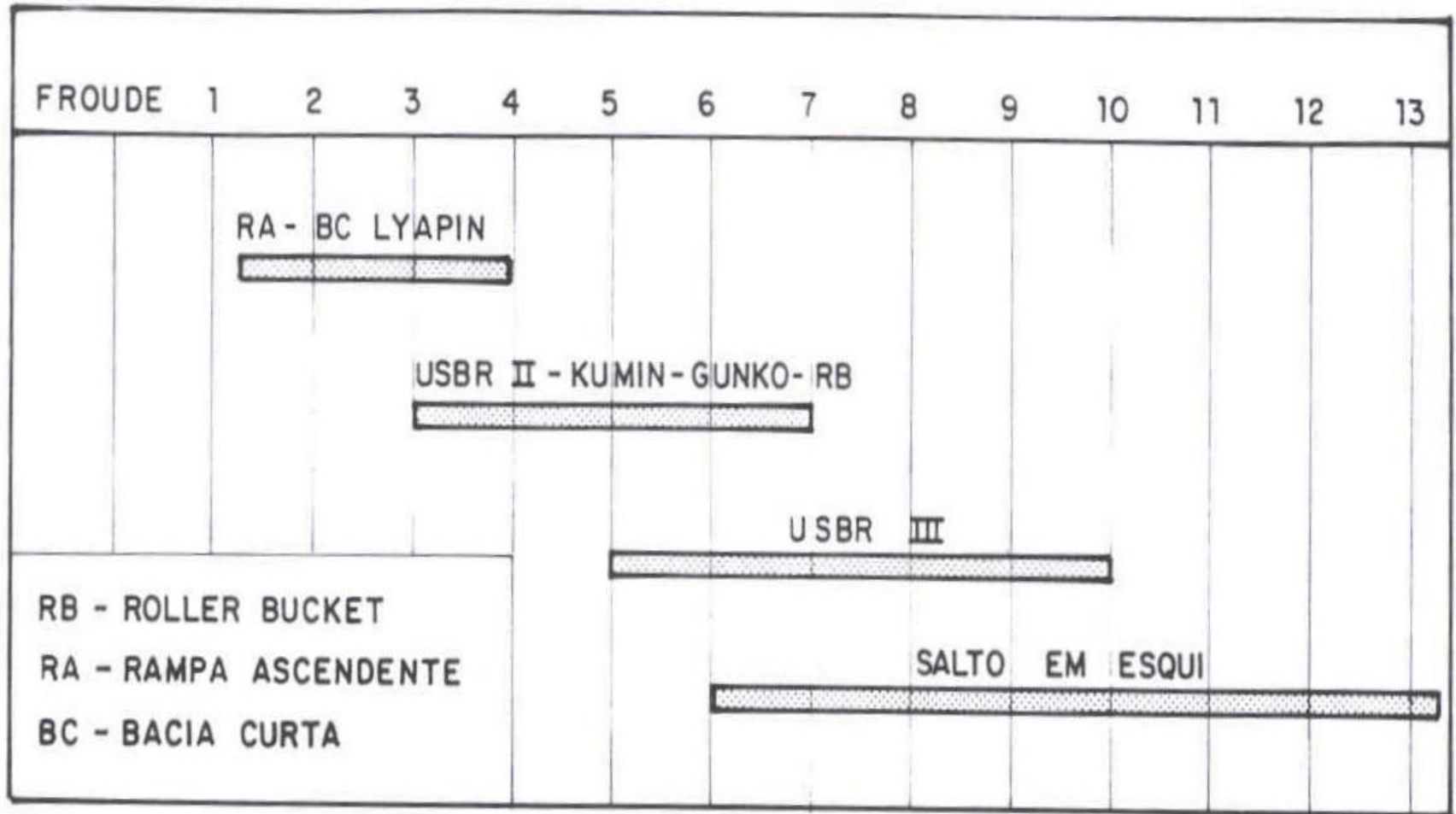


A black and white photograph showing a concrete dam structure with water flowing over it. The dam has a series of vertical slats or a grate-like structure. In the background, there is a sign with text in Portuguese. The water is turbulent as it flows over the dam, creating white foam. The surrounding area appears to be a construction or industrial site, with some structures and equipment visible in the background.

S. DO JOSE TRV
VENTE DOURA E CASA
DE FORÇA - APROXIMADO
M 1450 N^oS BCF 100 N^oS
ESC 1-60 28 07 94



Escolha do tipo de dissipador



Dissipador tipo salto esqui

Destaca-se por ser uma das estruturas mais econômicas

Bom desempenho

Versátil

Bom funcionamento para operações parciais do vertedor

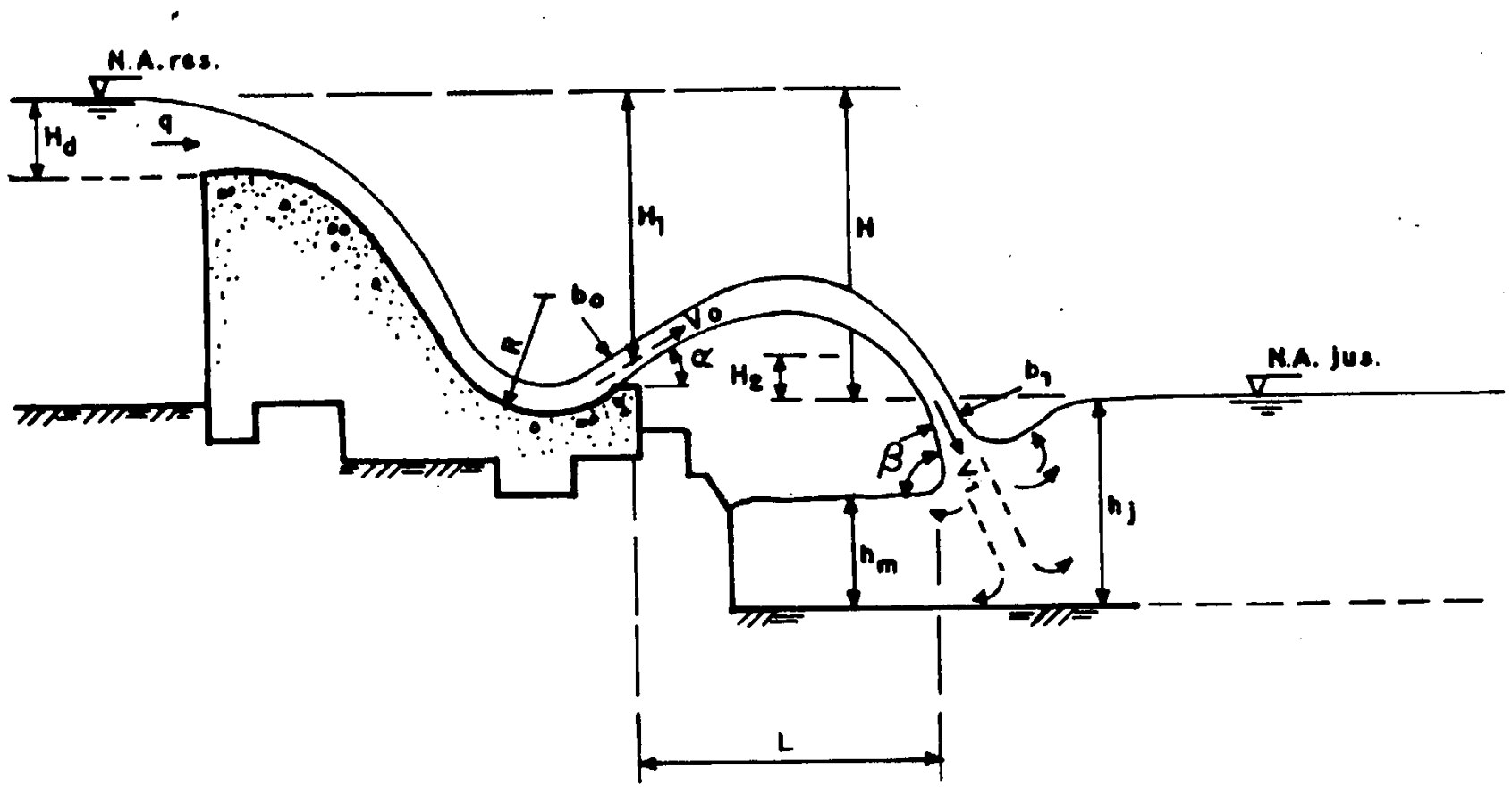
Existência de condições hidráulicas para bom lançamento do jato

Caracterização do salto esqui

Estrutura de lançamento

Geometria da concha

- sem transições bruscas
- profundidade constante
- raio de curvatura único (3 a 5 vezes a profundidade)





Processo de dissipação de energia no salto esqui

- Trajetória do jato
- Turbulência no escoamento
- Esforços na região de incidência do jato
 - Massa de água
 - Solo

Dificuldades encontradas

- *Vazão mínima de lançamento do jato (expulsão)*
- *Fossa de erosão*
 - tipo de solo/rocha a jusante
 - profundidade - fórmulas empíricas
 - flutuações de pressão
- *Pré-escavação (plunge-pool)*



P. ESCAV.4 Q-1000

4/8/2000





Correntes de recirculação

Ângulo de incidência do jato

Vazão específica

Condições topográficas limítrofes

Espessura do colchão de água a jusante

Desnível extravasor e NA a jusante

Cota do fundo do leito





PROBLEMAS QUE PODEM SER GERADOS QUANDO O DISSIPADOR NÃO É ADEQUADAMENTE PROJETADO

Alguns casos onde surgiram problemas:

- **Ilha Solteira - Cavitação**
- **Porto Colômbia - Cavitação**
- **Paulo Afonso IV - Ausência do Dissipador**
- **Moxotó - Formação de vórtices muito intensos junto às comportas**
- **Jaguara - Falta de pré-escavação e canal de restituição inexistente**
- **Itutinga - Ausência do dissipador e do canal de restituição**



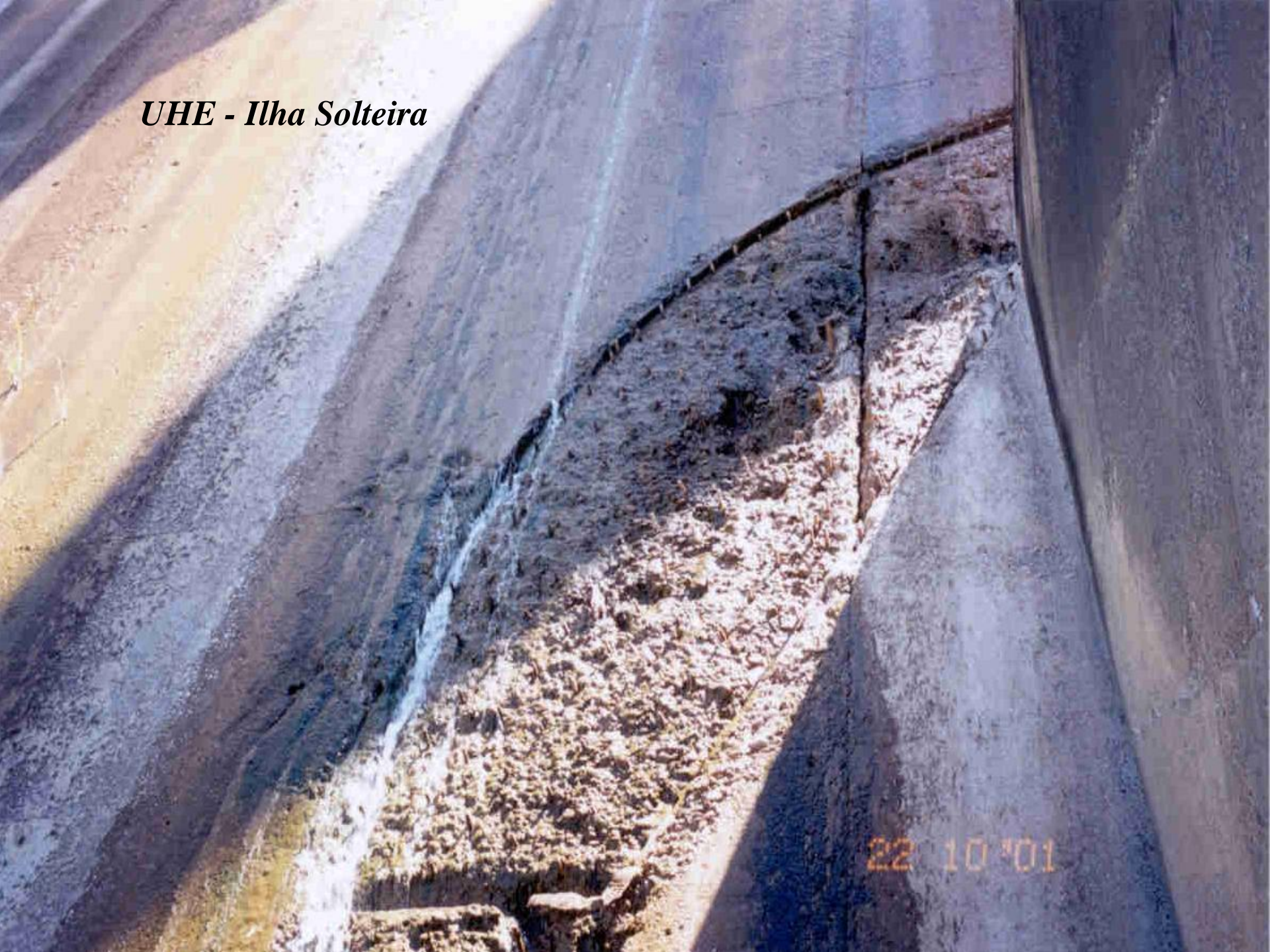




01 10 23

UHE - Ilha Solteira

22/10/01

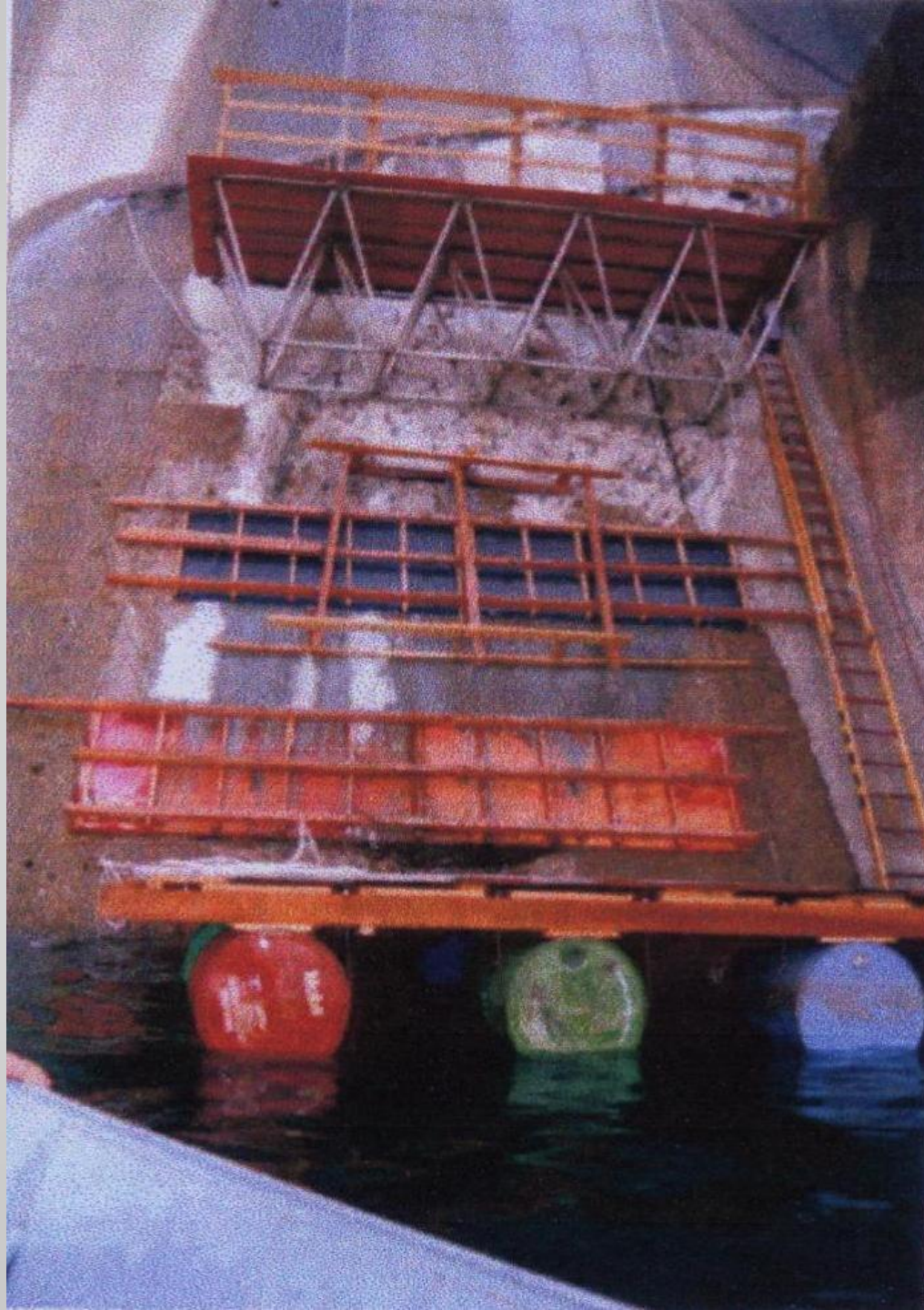




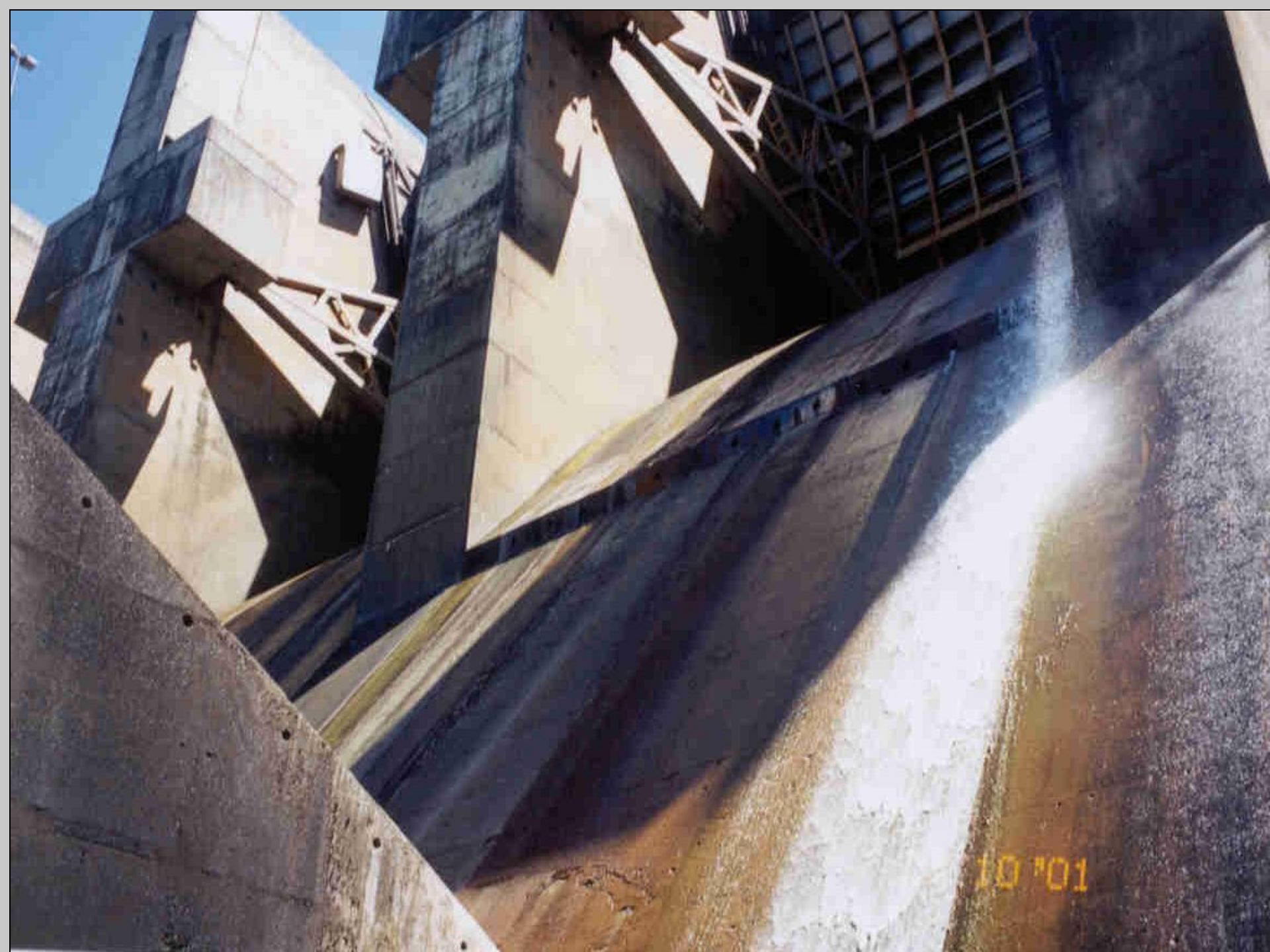
57 18 23



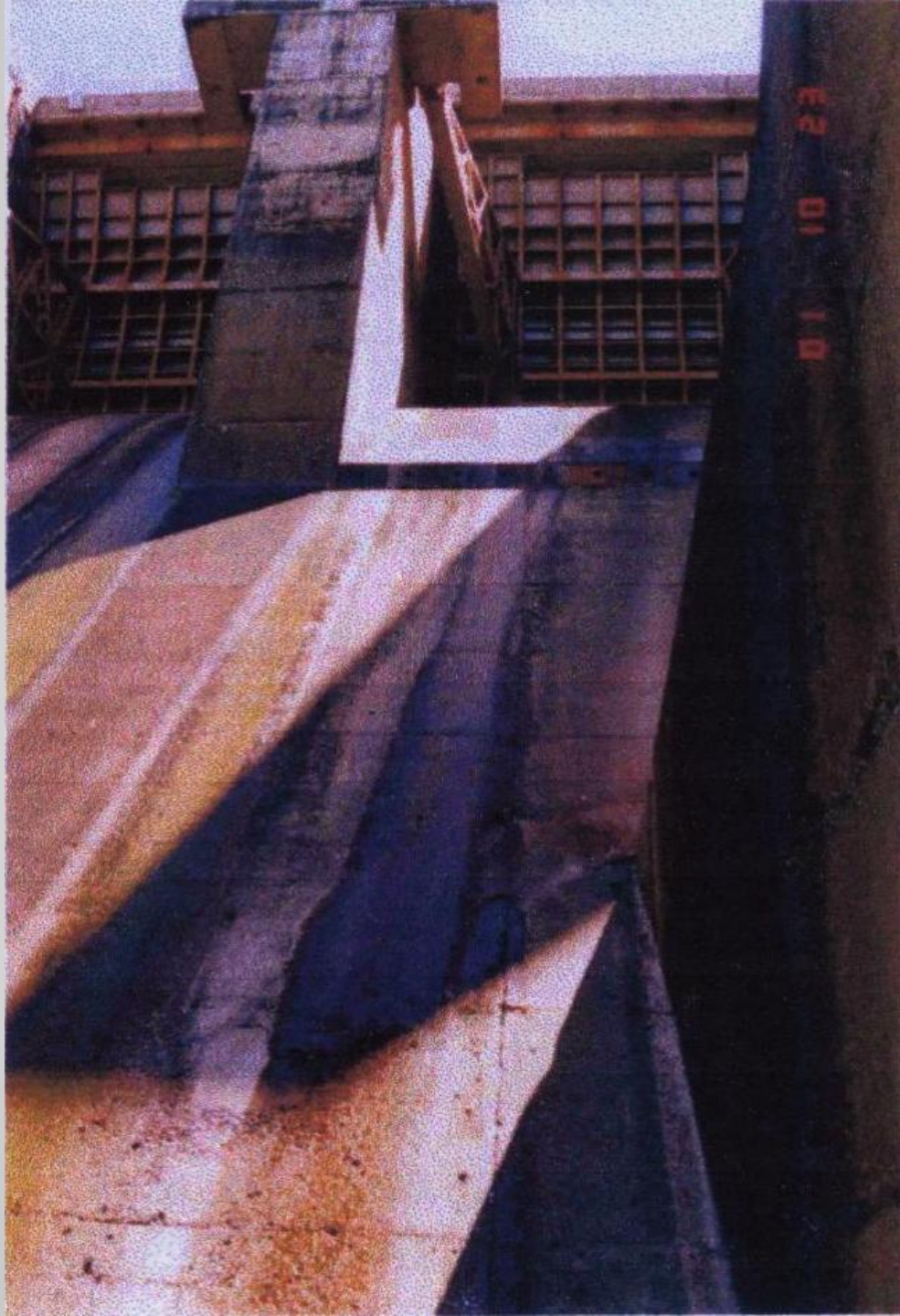
22 10 '01







10/01





PARAMENTO

3,443 m

DISPOSITIVO ANTI-VÓRTICE
(ARCO DE ELIPSE)

ELIPSE:

$a = 2,70\text{m}$

$b = 3,90\text{ m}$

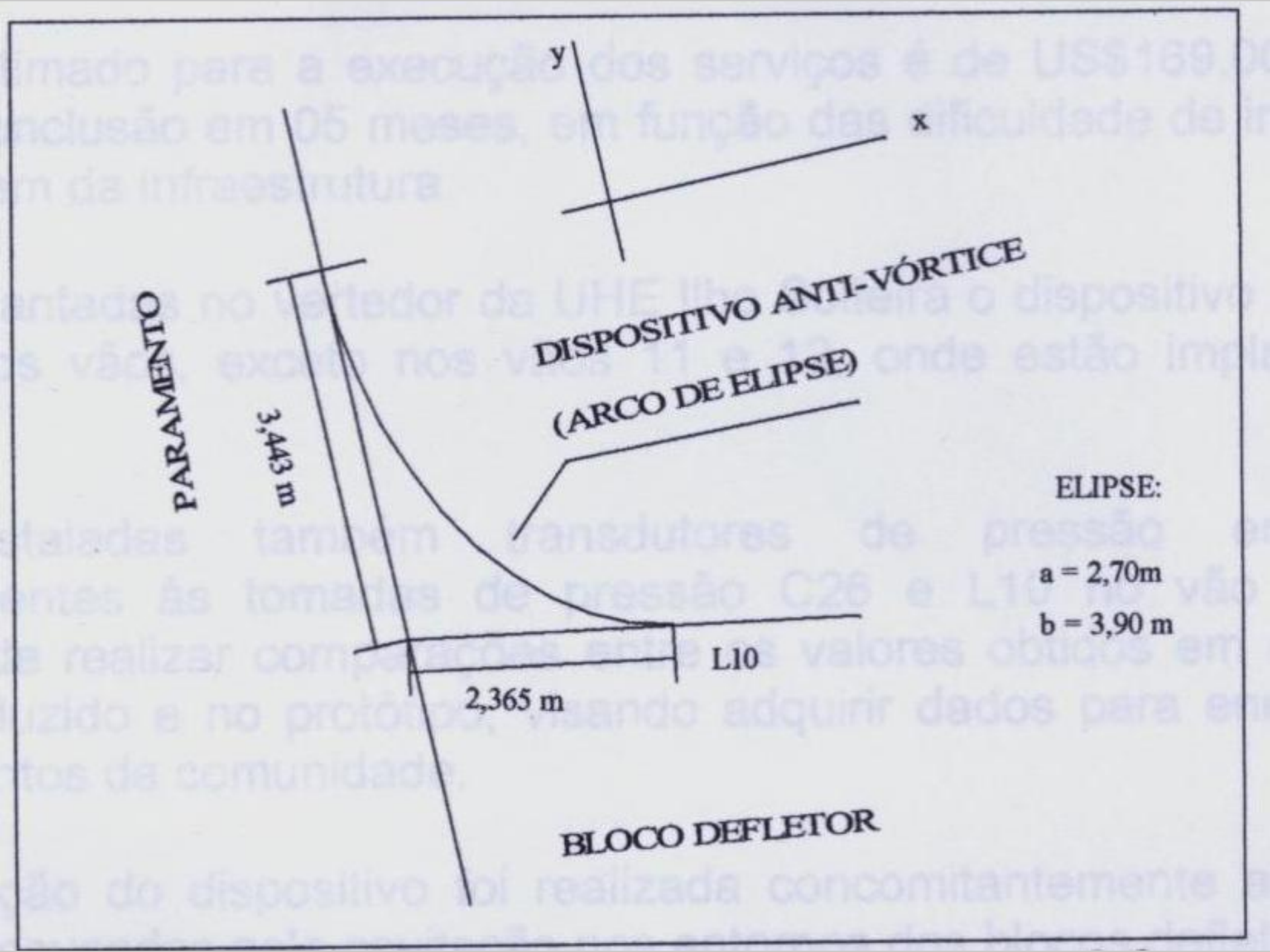
2,365 m

L10

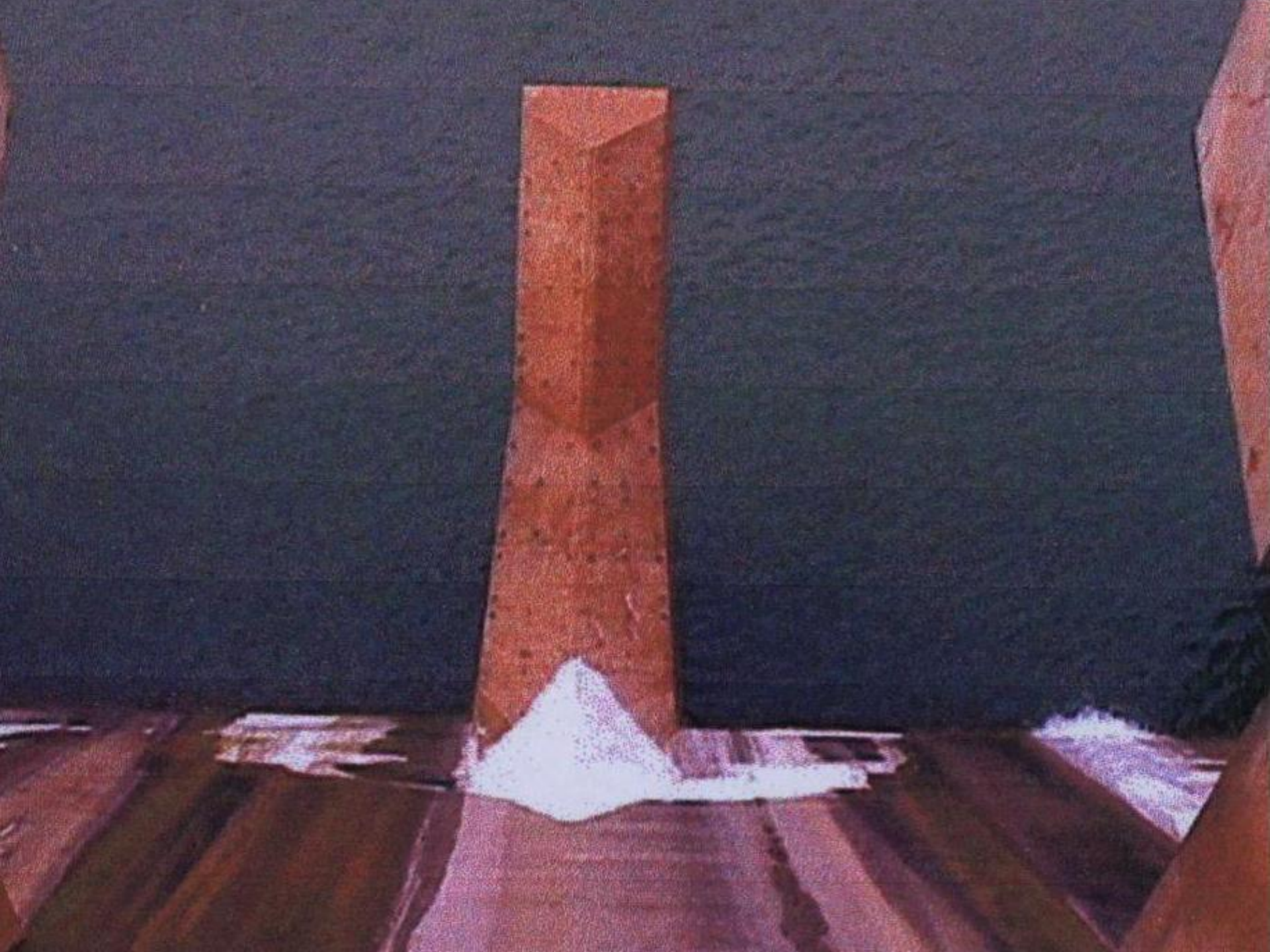
BLOCO DEFLETOR

y

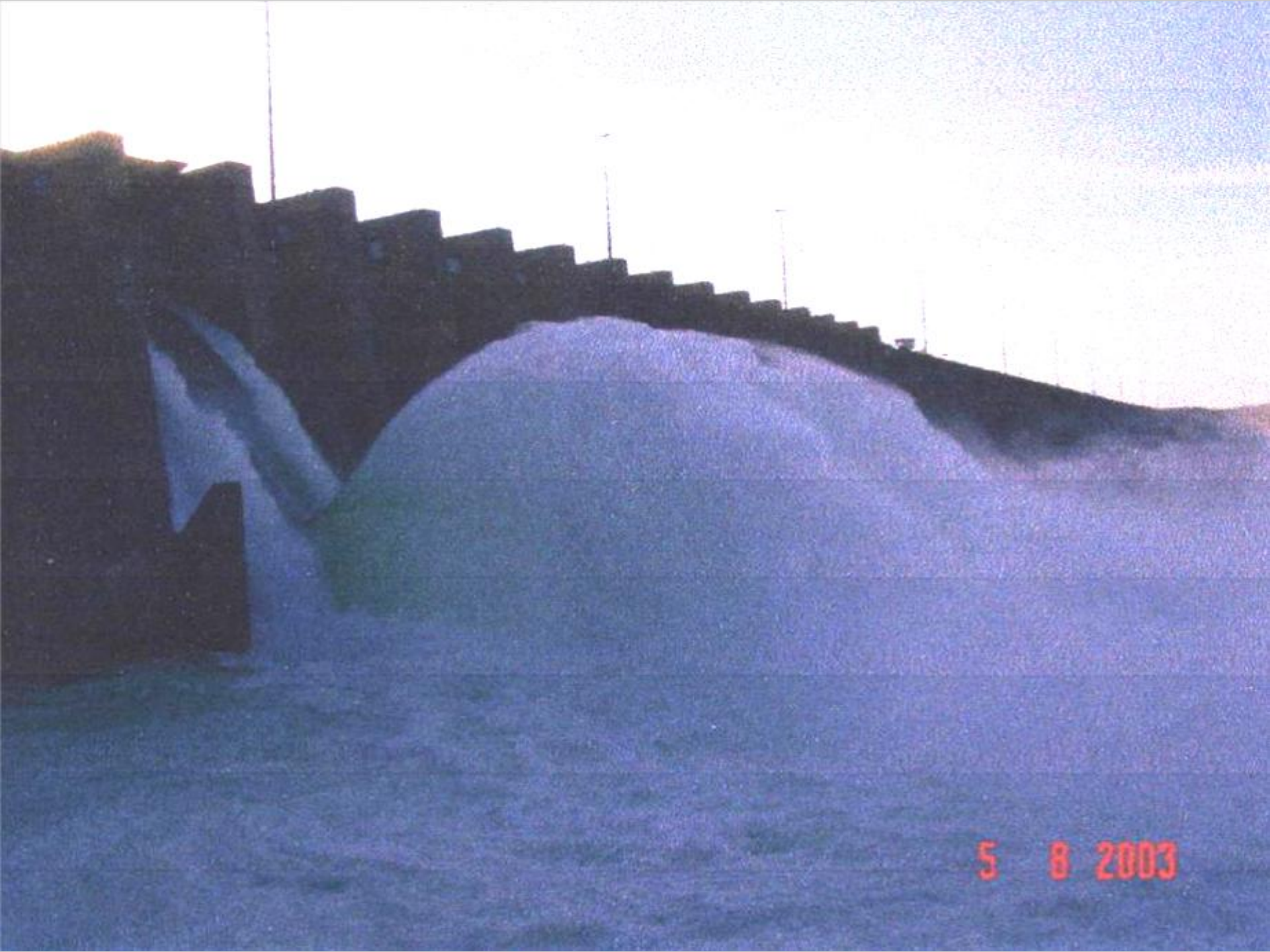
x







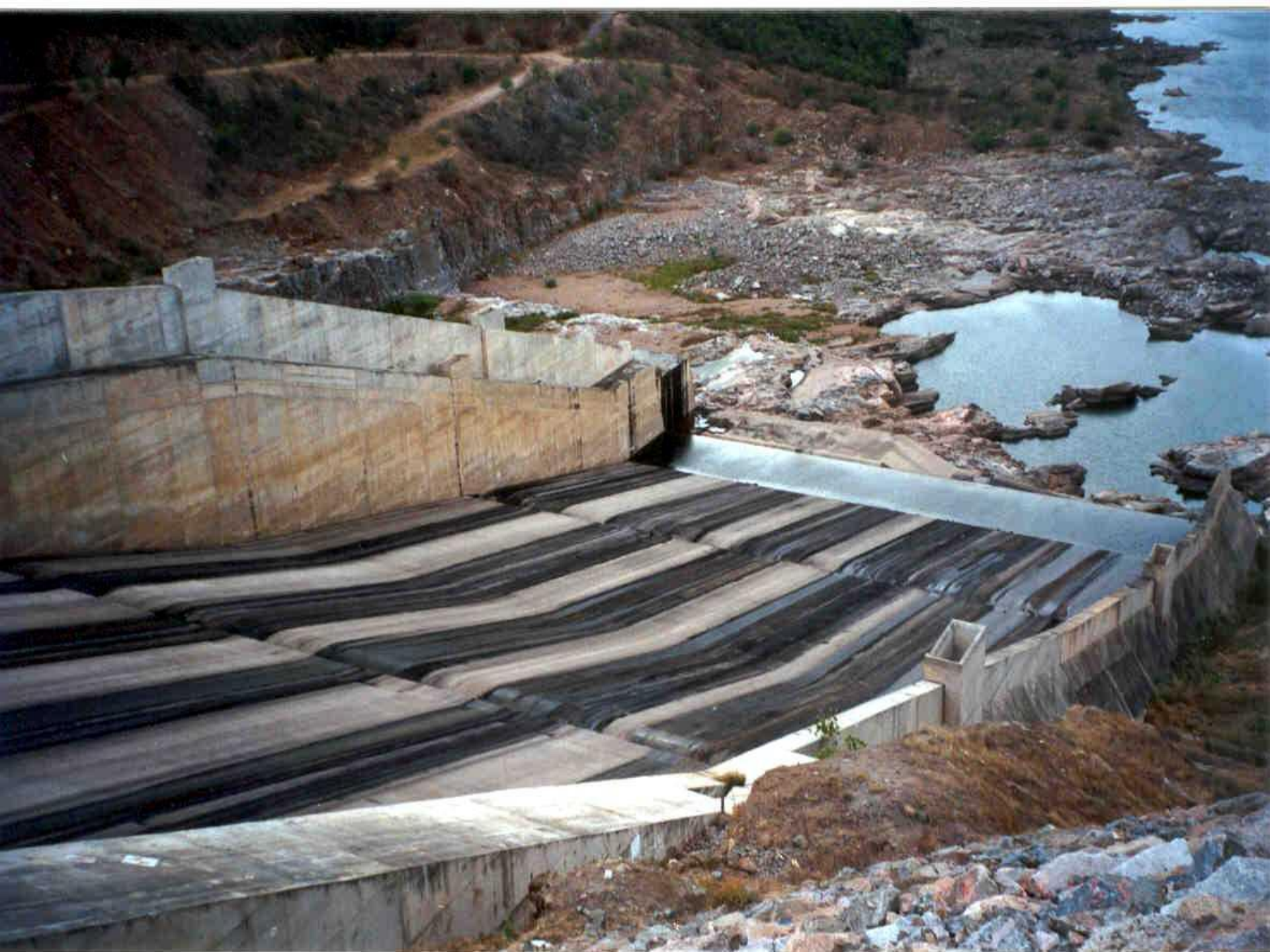




5 8 2003

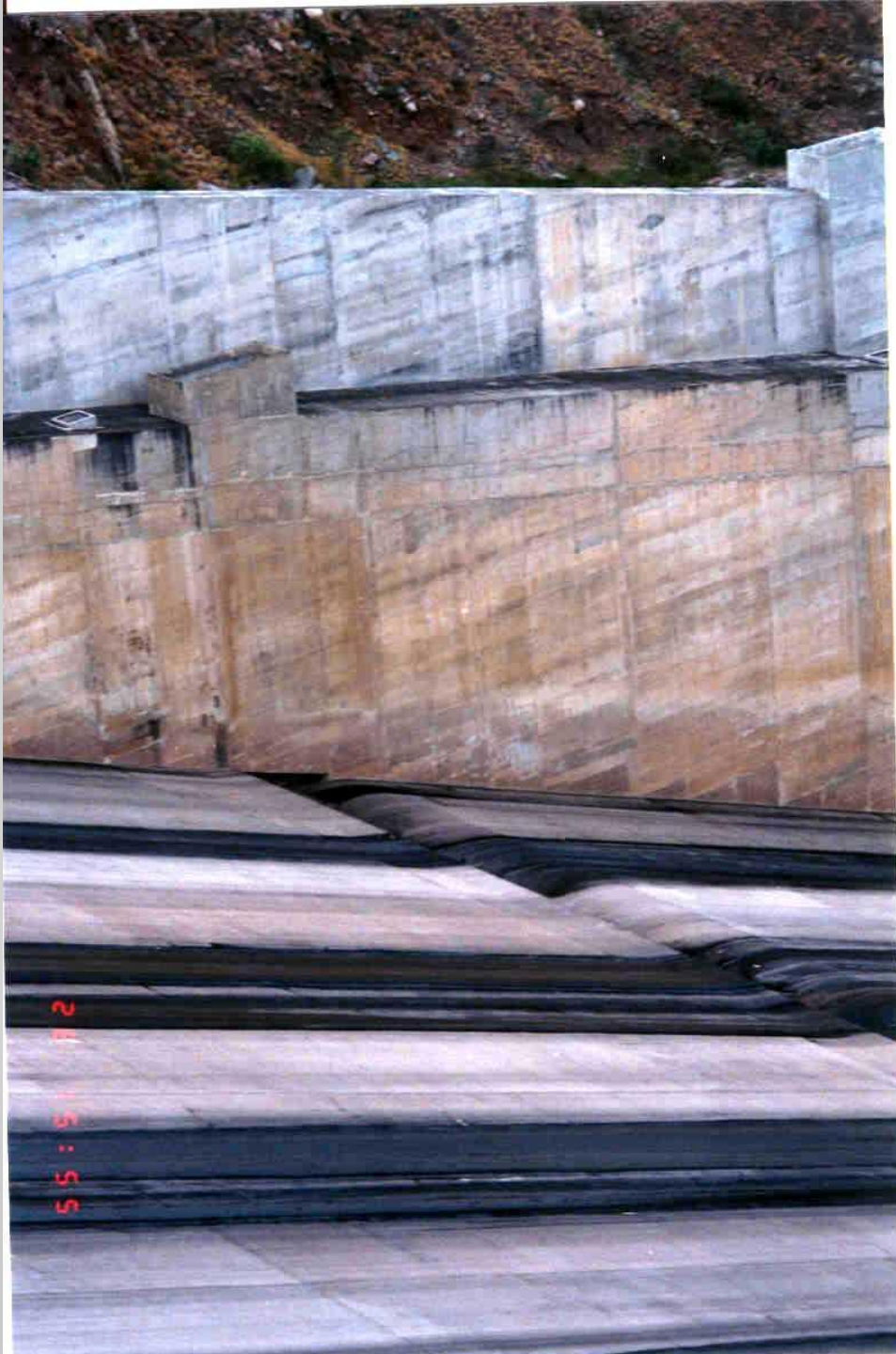


5 8 2003





20161019





Vertedor em Operação



UHE - Paulo Afonso IV



Erosão à jusante do vertedor



Erosão à jusante do vertedor

UHE - Paulo Afonso IV



Após execução do reparo

PROBLEMA AMBIENTAL CRIADO PELO DISSIPADOR DE ENERGIA PROJETADO DE UMA FORMA INADEQUADA

- **Grande mortandade de peixes nas ocasiões de**

Piracema: estudos de casos

– **Usina hidroelétrica de Jaguará - Rio Grande**

– **Usina hidroelétrica de Itutinga - Rio Grande**

- **Soluções adotadas**

UHE - Jaguará
Vista de Jusante de Vertedor



UHE - Jaguará
Formação de “piscinas”
à jusante do vertedor





UHE - Jaguará
Formação de “piscinas”
à jusante do vertedor





UHE Jaguará
Canal Concluído



***UHE Jaguará
Canal Inundado***



Erosão a jusante do vertedor



UHE - Itutinga

*Erosão a jusante do vertedor
e formação de “piscinas”*

