

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ
AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MACACOS

TOMO IV - RELATÓRIO GERAL

VOLUME II - MEMORIAL DE CÁLCULO

ENGEPROL

FORTALEZA- CE
ABRIL DE 1999

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MACACOS

TOMO IV RELATÓRIO GERAL

VOLUME II MEMORIAL DE CÁLCULO

Item: 02479 - Prep (X) Scan () Index ()
Projeto Nº 0237/04/02
Volume 1
Qtd A1 _____ Qtd A3 _____
Qtd A2 _____ Qtd A1 _____
Qtd A0 _____ Outros _____

0237/04/02

99/0378

2/ 63

FORTALEZA
Junho/99



GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MACACOS

TOMO IV
RELATÓRIO GERAL

VOLUME II
MEMORIAL DE CÁLCULO

FORTALEZA
Junho/99

609003



ÍNDICE

000001

INDICE

APRESENTAÇÃO	4
1 - PARÂMETRO GEOMÉTRICO	6
1 1 - LARGURA DO VERTEDOIRO	7
1 2 - FOLGA (F)	7
1 3 - REVANCHE	8
1 4 - COTA DO COROAMENTO DA BARRAGEM	8
1 5 - ALTURA MÁXIMA DA BARRAGEM (HB)	9
1 6 - LARGURA DA CRISTA (B)	9
1 7 - RIP - RAP	10
2 – SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA	13
2 1 - REDE DE FLUXO - CALCULO DA DESCARGA ANISOTROPIA .	14
2 2 - PERCOLAÇÃO ATRAVÉS DO MACIÇO E DA FUNDAÇÃO	14
3 – TOMADA D'ÁGUA..	17
3 1 – CÁLCULO DO DIÂMETRO	18
3 2 – CALCULO DA COTA OPERACIONAL	18
3 3 - EQUAÇÃO DA DESCARGA DA GALERIA	19
4 – ESTABILIDADE DOS TALUDES	23

000005

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

A ENGEPROL Ltda apresenta, a seguir, o Projeto Executivo da Ampliação da Reserva Hídrica do Sistema Carrapateiras/Macacos, no município de Ibaratama, no estado do Ceará, objeto do Contrato nº 079/97-SRH- Secretaria dos Recursos Hídricos

O referido projeto está apresentado nos seguintes documentos

TOMO I – Relatório dos Estudos Preliminares

TOMO II – Relatórios dos Estudos Básicos

VOLUME I – Estudos Topográficos

VOLUME II – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME III – Estudos Hidrológicos

TOMO III – Relatório da Concepção Geral do Projeto

TOMO IV – Relatório Geral

VOLUME I – Descrição Geral do Projeto

VOLUME II – Memorial de Cálculo

VOLUME III – Especificações Técnicas e Orçamento

VOLUME IV – Desenhos

TOMO V – Relatório Síntese

O presente relatório refere-se ao TOMO IV – Relatório Geral

VOLUME II – Memorial de Cálculo

1 - PARÂMETRO GEOMÉTRICO

1 – PARÂMETRO GEOMÉTRICO

1 1 - LARGURA DO VERTEDOURO

- Area da bacia hidrografica = 67,6 km²

a) Cheia milenar

$Q_m = 245,77 \text{ m}^3/\text{s}$ (descarga de projeto)

$L = 80 \text{ m}$ (adotado)

$H_o = 1,50 \text{ m}$

b) Cheia decamilenar

$Q_m = 376,52 \text{ m}^3/\text{s}$

$L = 80 \text{ m}$

$H_o = 1,99 \text{ m}$

1 2 - FOLGA (F)

A folga da barragem em relação ao nível máximo das águas foi determinada pelas fórmulas

$$F = H_o + H_c + H_d$$

sendo

$$H_o = R - H_s/2$$

$R/H_s = 0,7$ de acordo com tabela 15 3

$R = \text{elevação da onda} = 0,7 \cdot H_s$

$H_s = \text{altura da onda}$

$$H_s = 0,75 + 0,34 \times (L)^{1/2} - 0,26 \times (L)^{1/4}$$

$$v_o = 1,5 + 2H_s$$

$H_s = \text{altura da onda} = 0,86947652 \text{ m}$

$L = \text{fetch} = 1,4 \text{ km}$

$v_o = \text{velocidade da onda em m/s}$

logo

$$H_s = 0,87 \text{ m}$$

$$v_o = 3,24 \text{ m/s}$$

$$H_o = 0.61 \text{ m}$$

Considerando os seguintes valores para H_c e H_d ,

$$H_c = 0.15 \text{ m}$$

$$H_d = 0.15 \text{ m}$$

Teremos

$$F = 0.91 \text{ m}$$

1.3 - REVANCHE

Para cálculo da "revanche" utilizou-se a fórmula

$$R = H_o + F$$

onde

a) Cheia milenar

$$H_o = \text{lâmina de sangria} = 1.50 \text{ m}$$

$$F = \text{folga} = 0.91 \text{ m}$$

$$R = 2.40 \text{ m}$$

b) Cheia decamilenar

$$H_o = \text{lâmina de sangria} = 1.99 \text{ m}$$

$$F = \text{folga mínima} = 0.91 \text{ m}$$

$$R = 2.90 \text{ m}$$

1.4 - COTA DO COROAMENTO DA BARRAGEM

Calculou-se a cota do coroamento pela fórmula

$$cc = cs + R$$

onde

cc = cota do coroamento

cs = cota da soleira do sangradouro = 120 m

a) descarga milenar

R = revanche = 2.40 m

logo

cc = 122,40

b) descarga decamilenar

R = revanche = 2.90 m

logo

cc = 122,90

Adotou-se a cota do coroamento = 122,50

1 5 - ALTURA MÁXIMA DA BARRAGEM (Hb)

Para determinação da altura máxima utilizou-se a seguinte fórmula

$$Hb = cc - CLR$$

onde

cc = cota do coroamento = 122,5

CLR = cota do leito do rio = 105,5

Hb = 17,00 m

1 6 - LARGURA DA CRISTA (b)

A largura da crista foi determinada pela fórmula de Preece

$$b = 1,1 \times (Hb)^{1/2} + 0,9$$

b = 5,44 m

Adotou-se $b = 6,00 \text{ m}$

TALUDES

- Montante

Cota 122,5 até o terreno 2 1

- Jusante

Cota 122,5 até o terreno 2 1

1 7 - RIP - RAP

a) ESPESSURA DO RIP-RAP

O rip-rap foi dimensionado através da fórmula

$$e = C v_o^2$$

onde

e = espessura do rip-rap (m)

C = coeficiente, função da inclinação do talude e do peso específico da rocha = 0,031

v_o = velocidade das ondas (m/s) = 3,24 m

$$e = 0,33 \text{ m}$$

Adotou-se a espessura do rip-rap = 0,45 m

ESPESSURA DA TRANSIÇÃO

$$e_t = e/2$$

onde

e_t = espessura da transição

$$e_t = 0,225 \text{ m}$$

Adotou-se a transição de 0,30 m

Adotou-se a espessura total do rip-rap = 0,75 m

1.8 – Critérios Granulométricos para Filtros e Transições

Material	D15	D85
Solo	0,0025	0,6
Areia	0,8	10
Cascalho	0,5	3

Solo / Areia

4*D15 solo =	0,21	<	D15 areia	OK!
4*D85 solo =	2,4	<	D15 areia	OK!

Areia / Cascalho

4*D15 solo =	3,2	<	D15 cascalho	Não OK!
4*D85 solo =	40	<	D15 cascalho	OK!

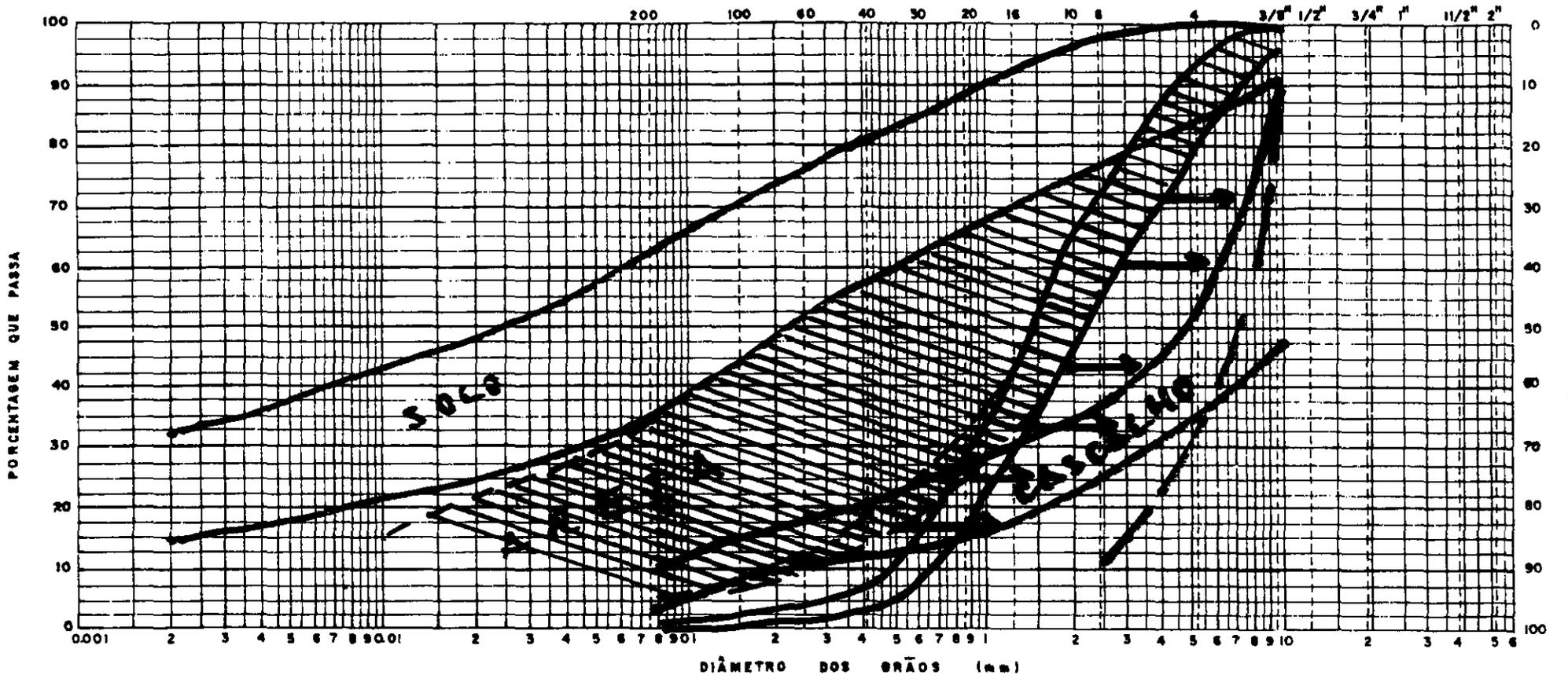
Recomendações

1 – A areia deve ser lavada ou peneirada, uma vez que sua percentagem D finos está acima do limite admissível que é de 5%

2 – O cascalho também deve ser selecionado por peneiramento, uma vez que sua fração fina está muito próxima a areia

As curvas granulométrica recomendável para a areia, ajustada a areia disponível (faixa hachurada) assim como a faixa recomendada para o cascalho, que seria tudo a esquerda da faixa da areia (ver setas), repetindo-se um limite máximo para o D15 do cascalho de 40 mm

PENEIRAS (ASTM)



ABNT	Argila	Silte	Areia fina	Areia média	Areia grossa	Pedregulho
MIT	Argila	Silte	Areia fina	Areia media	Areia grossa	Pedregulho
USCS	Argila	Silte	Areia fina	Areia média	Areia grossa	Pedregulho

000014

CURVA GRANULOMÉTRICA

2 – SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

000015

2 - SISTEMA DE DRENAGEM INTERNA

2.1 - REDE DE FLUXO - CALCULO DA DESCARGA ANISOTROPIA

$$K_v = K_h$$

$$K_v = K_{SM} = 0,00000045 \text{ cm/s}$$

$$K_v = 4,5E-09 \text{ m/s}$$

$$K_h = 9 \times K_v = 4,05E-08 \text{ m/s}$$

$$X_t = x(K_v/K_h)^{0,5} = x \cdot 0,333333$$

$$d = 19,51 \text{ m}$$

$$h = 14,50 \text{ m}$$

$$y_0 = (d^2 + h^2)^{1/2} - d$$

$$y_0 = ((d/3)^2 + h^2)^{1/2} - (d/3)$$

$$y_0 = 9,389 \text{ m}$$

$$y = (y_0^2 + 2 y_0 X_t)^{1/2}$$

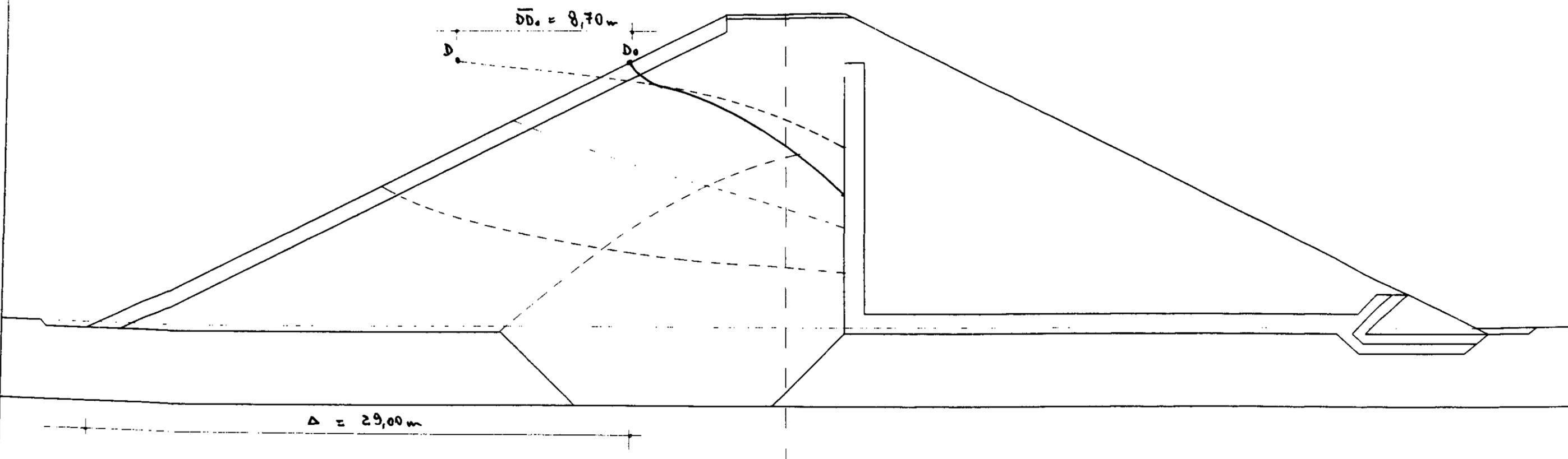
COORDENADAS DA SUPERFICIE FREÁTICA

Xt	y	Xr=3Xt
0,00	9,389	0,00
1,50	10,785	4,50
2,00	11,212	6,00
2,50	11,623	7,50
3,00	12,020	9,00
3,50	12,404	10,50
4,00	12,777	12,00
4,50	13,139	13,50
5,00	13,492	15,00
5,50	13,836	16,50
6,50	14,500	19,51

2.2 - PERCOLAÇÃO ATRAVÉS DO MACIÇO E DA FUNDAÇÃO

a) Maciço

Com a definição da superfície freática conforme item precedente calcula-se a descarga



000018



REDE DE FLUXO

3 – TOMADA D'ÁGUA

000019

3 - TOMADA D'AGUA

3.1 – CALCULO DO DIÂMETRO

O diâmetro foi calculado pela fórmula

$$D = (4Q/\pi)^{1/2}$$

onde

$$Q = \text{descarga regularizada} = 0,071 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\pi = 3,1416$$

logo

$$D = 0,245 \text{ m}$$

Diâmetro adotado 250 mm

velocidade do escoamento

$$v = Q/a = 1,45 \text{ m/s}$$

3.2 – CALCULO DA COTA OPERACIONAL

o número de Reynolds vem a ser

$$Re = (v \cdot D) / \nu = 4,52E+05$$

$$e/d = 0,0005$$

pelo diagrama de Moody, o coeficiente de atrito tem o valor $f = 0,0175$

a perda por atrito é calculada pela expressão

$$h_f = f(l \cdot v^2) / (2g \cdot D) = 0,373 \text{ m}$$

as perdas acidentais foram calculadas em função dos coeficientes

000020

$K_c = 0.55$ crivo

$K_r = 0.25$ registro

$K_s = 1$ saída da tubulação

a perda acidental total sera

$$h_a = (K_c + K_r + K_s)(v^2/2g) = 0.219 \text{ m}$$

e a perda total sera 0.697 m

Como a cota do eixo da galeria = 110

O nível mínimo operacional sera 110,70

3.3 - EQUAÇÃO DA DESCARGA DA GALERIA

expressão das perdas localizadas em função da vazão

$$h_f = f(l \cdot v^2)/(2g \cdot D) = f(l \cdot (Q/A)^2)/(2g \cdot D)$$

como $A = 0.049089063 \text{ m}^2$

$$h_f = 74.0286 Q^2$$

$$h_a = (K_c + K_r + K_e + K_s)(v^2/2g) = (K_c + K_r + K_e + K_s)((Q/A)^2/2g) =$$

$$h_a = 43.3596 Q^2$$

$$H_{\text{mínimo operacional}} = \text{cota entrada} + H_f + (V^2/2g)$$

$$H_{\text{mínimo operacional}} = 110,00 + 117,388216 Q^2 + V^2/2g$$

$$V^2/2g = ((Q/A)^2)/2g = (Q^2/A^2)/2g = Q^2 \times 16/\pi^2 \times D^4 \times 2g$$

$$V^2/2g = 21,1524 Q^2$$

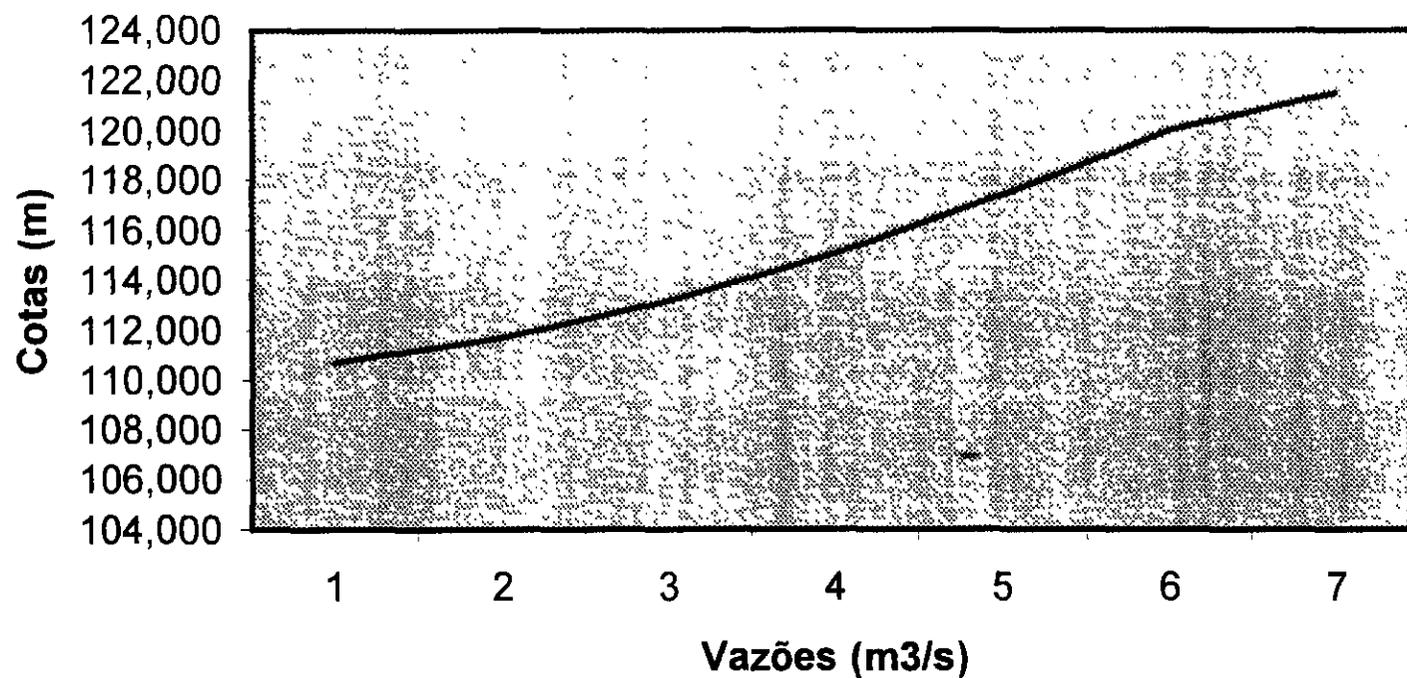
$$H_w = h_f + h_a + V^2/2g$$

$$H_w = 138,5406 Q^2$$

Hw	Q	COTA	OBSERVAÇÕES
0.698	0,071	110,698	Hmin operacional
1.707	0,111	111,707	
3.159	0,151	113,159	
5.054	0 191	115,054	
7.393	0,231	117,393	
10.00	0.269	120.000	Soleira
11 50	0,288	121,50	NA Max (1000anos)

000021

CURVA DE DESCARGA DA GALERIA



000022

ESCOAMENTO DE FLUIDOS EM TUBOS

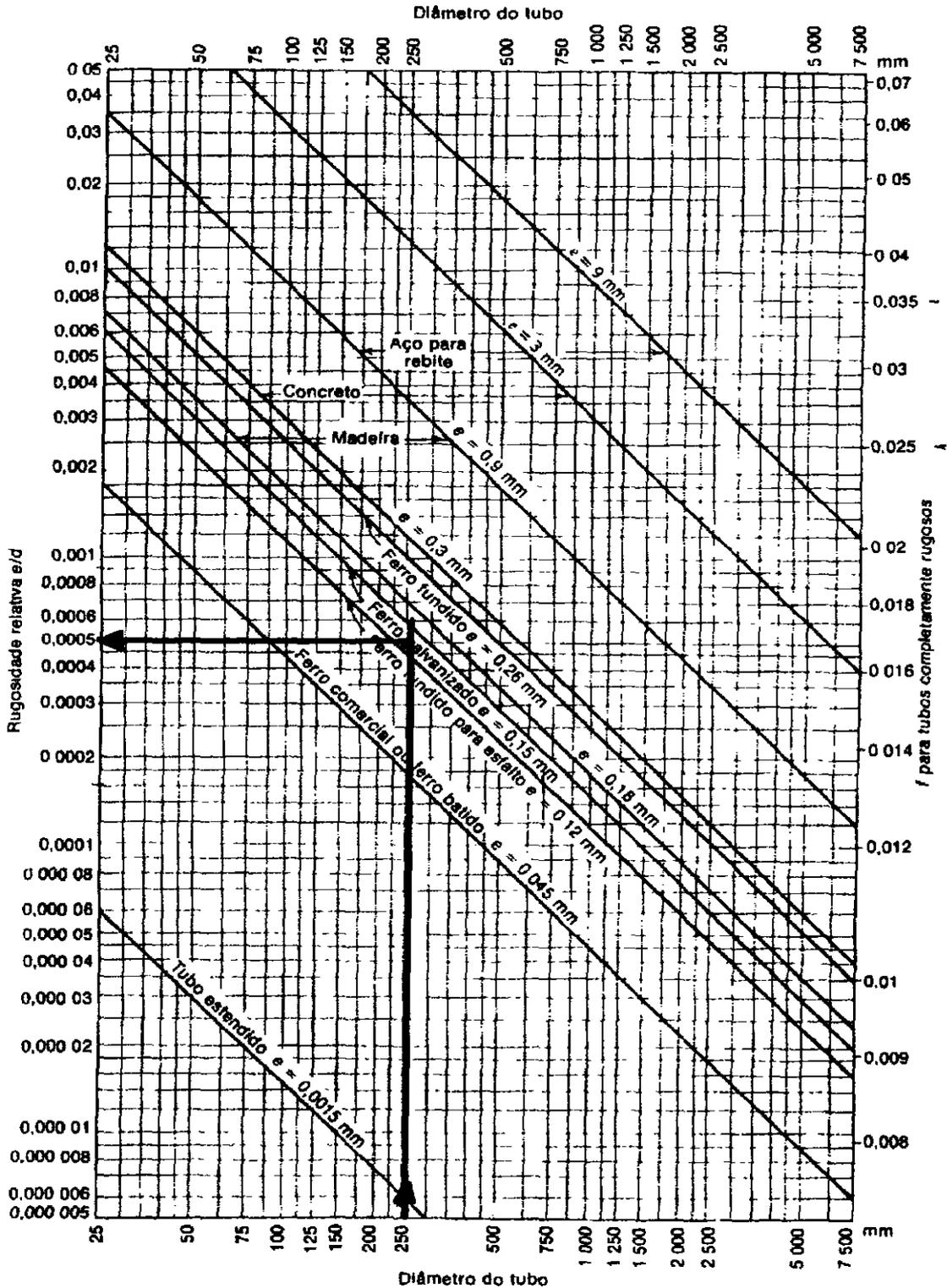
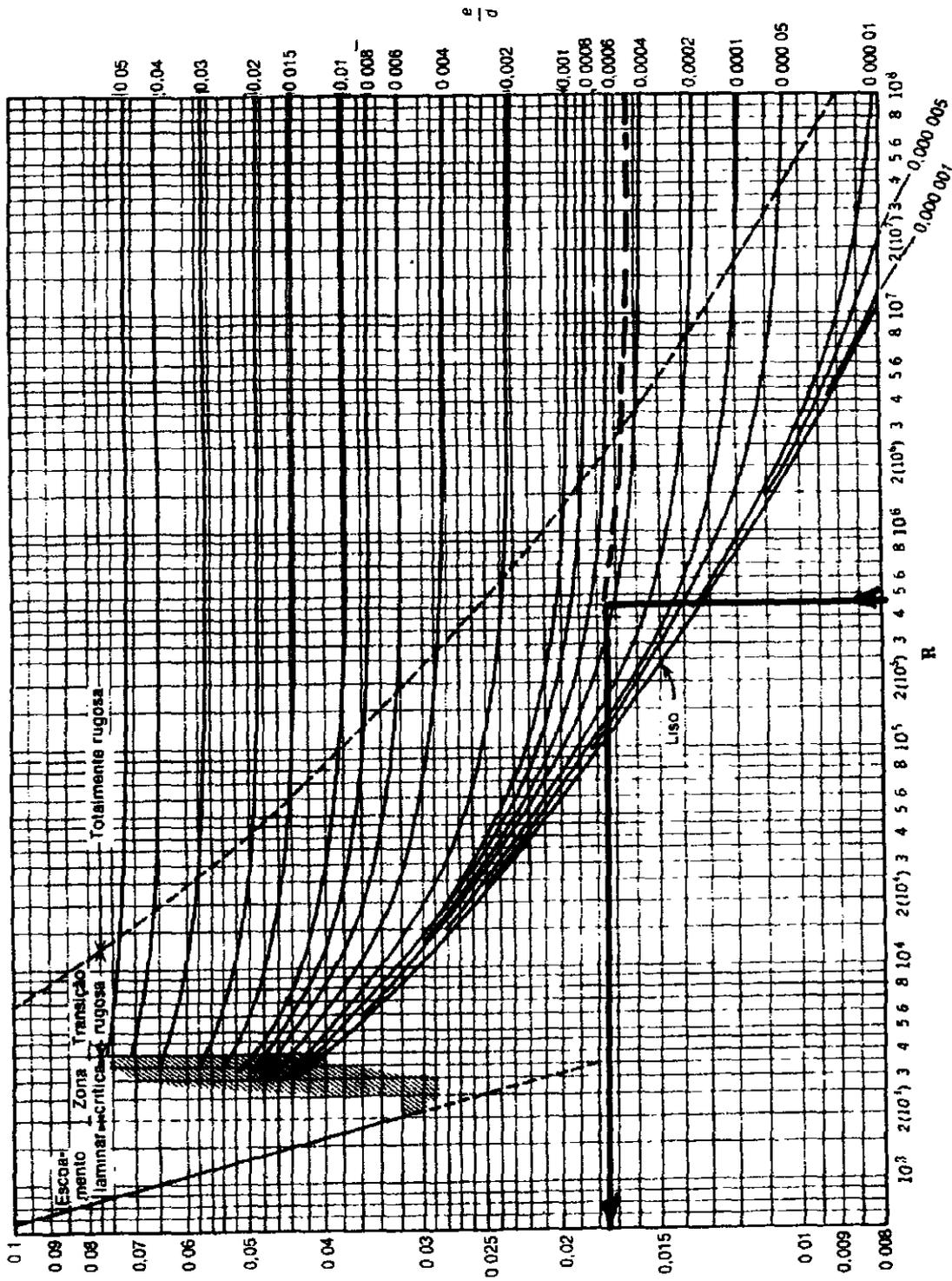


Diagrama de rugosidade relativa

ELEMENTOS DE MECÂNICA DOS FLUIDOS



Relação entre o fator de atrito, número de Reynolds, e rugosidade para tubos comerciais (ver nota de rodapé 9).

4 – ESTABILIDADE DOS TALUDES

000025

4 - ESTABILIDADE DOS TALUDES

Os cálculos da estabilidade dos taludes do maciço foram efetuados utilizando-se o método das fatias, que consiste em escolher uma superfície de ruptura, geralmente circular, dividindo-a em fatias

O fator de segurança é obtido da razão entre as forças resistentes de cada fatia e, as forças estabilizadoras quanto ao colapso do maciço

$$F_s = \frac{cL + \tan \theta (W_l \cos i - BW \cos i)}{W_l \sin i}$$

onde

F_s = fator de segurança

$W_l \cos i$ = força normal a superfície de ruptura

$W_l \sin i$ = força tangente à superfície de ruptura

c = força coesiva

θ = ângulo de atrito interno

B = u/gh

A seção escolhida para os cálculos foi a seção máxima, uma vez que esta detém as condições mais desfavoráveis. Os estudos se desenvolveram com a comparação dos fatores de segurança (F_s) encontrados, com os admissíveis para este projeto

Os casos de carregamento a que o maciço será submetido determinaram os parâmetros de resistência a serem utilizados e o tipo de análise a ser feita, tais como

FINAL DE CONSTRUÇÃO

O talude de jusante foi analisado para esta condição e, a análise feita em termos de pressões totais

REGIME PERMANENTE

Este regime é crítico para o talude de jusante e a análise é feita em termos de pressões efetivas. Foi considerada a superfície freática estabelecida no nível máximo normal (cota da

soleira) e o sistema de drenagem interna em funcionamento

para FINAL DE CONSTRUÇÃO - $F_s > 1,30$

para REGIME PERMANENTE - $F_s > 1,40$

Os parâmetros considerados para os diversos materiais foram obtidos com base na caracterização da área de emprestimo e, em experiências com material similar em outras obras

A seguir são apresentados os resultados para a superfície

MATERIAIS UTILIZADOS

MATERIAL 1 SM

Peso Específico 1,71

Coesão 0,2

Ângulo de Atrito Interno 27

MATERIAL 2 AREIA

Peso Específico 1,85

Coesão 0

Ângulo de Atrito Interno 30

MATERIAL 3 TRANSIÇÃO

Peso Específico 1,9

Coesão 0

Ângulo de Atrito Interno 33

MATERIAL 4 ENROCAMENTO

Peso Específico 2

Coesão 0

Ângulo de Atrito Interno 35

000027

MATERIAL 5 PEDRISCO

Peso Específico 1,75

Coesão 0

Ângulo de Atrito Interno 33

MATERIAL 6 FUNDAÇÃO

Peso Específico 1,85

Coesão 0

Ângulo de Atrito Interno 30

000028



FINAL DA CONSTRUÇÃO
TALUDE DE MONTANTE

fatia	alfa	radia	base	h1	h2	area	peso	normal	tang
1	54	0,942	1	0	1,7	2,290	4,260	2,504	3,446
2	50	0,873	3,2	1,7	3,8	17,210	32,010	20,576	24,521
3	42	0,733	2,8	3,8	5,4	34,387	63,960	47,531	42,798
4	37	0,646	2,9	5,4	6,3	54,430	101,240	80,854	60,928
5	29	0,506	2,2	6,3	6	69,371	129,030	112,852	62,555
6	22	0,384	4,1	6	5,6	60,167	111,910	103,761	41,922
7	17	0,297	3,4	5,6	5	60,860	113,200	108,254	33,097
8	8	0,140	3,6	5	4,2	51,361	95,531	94,601	13,295
9	5	0,087	4	4,2	3	43,290	80,520	80,214	7,018
10	-5	-0,087	3,7	3	1,5	31,791	59,131	58,906	-5,154
11	-8	-0,140	3,7	1,5	3	18,092	33,651	33,324	-4,683
12	-14	-0,244	2,2	3	0	3,548	6,600	6,404	-1,597
SOMATORIO								749,78	278,1466

F S = 1,56

000029



REGIME PERMANENTE
TALUDE DE MONTANTE

fatia	alfa	radia	base	h1	h2	area	peso	normal	tang
1	54	0,942	1	0	1,7	2,290	4,260	2,504	3,446
2	50	0,873	3,2	1,7	3,8	17,210	32,010	20,576	24,521
3	42	0,733	2,8	3,8	5,4	34,387	63,960	47,531	42,798
4	37	0,646	2,9	5,4	6,3	54,430	101,240	80,854	60,928
5	29	0,506	2,2	6,3	6	69,371	129,030	112,852	62,555
6	22	0,384	4,1	6	5,6	60,167	111,910	103,761	41,922
7	17	0,297	3,4	5,6	5	60,860	113,200	108,254	33,097
8	8	0,140	3,6	5	4,2	51,361	95,531	94,601	13,295
9	5	0,087	4	4,2	3	43,290	80,520	80,214	7,018
10	-5	-0,087	3,7	3	1,5	31,791	59,131	58,906	-5,154
11	-8	-0,140	3,7	1,5	3	18,092	33,651	33,324	-4,683
12	-14	-0,244	2,2	3	0	3,548	6,600	6,404	-1,597
SOMATORIO								749,78	278,1466

FS = 1,86

000030



REGIME PERMANENTE
TALUDE DA JUSANTE

fatia	alfa	radia	base	h1	h2	area	peso	normal	tang
1	66	1,152	1	0	1,7	5,242	9,750	3,966	8,907
2	54	0,942	3,2	1,7	3,8	93,726	174,330	102,468	141,036
3	42	0,733	2,8	3,8	5,4	32,823	61,050	45,369	40,851
4	38	0,663	2,9	5,4	6,3	28,430	52,880	41,670	32,556
5	31	0,541	2,2	6,3	6	85,608	159,230	136,487	82,010
6	22	0,384	4,1	6	5,6	83,688	155,660	144,325	58,311
7	11	0,192	3,4	5,6	5	76,575	142,430	139,813	27,177
8	5	0,087	3,6	5	4,2	73,387	136,500	135,981	11,897
9	-6	-0,105	4	4,2	3	63,086	117,340	116,697	-12,265
10	-14	-0,244	3,7	3	1,5	48,677	90,540	87,851	-21,904
11	-22	-0,384	3,7	1,5	5,4	40,263	74,890	69,437	-28,054
12	-33	-0,576	2,9	5,4	6,3	18,817	35,000	29,353	-19,062
13	-40	-0,698	2,2	6,3	0	2,355	4,380	3,355	-2,815
SOMATÓRIO								1056,772	318,644

FS = 1,79

000031

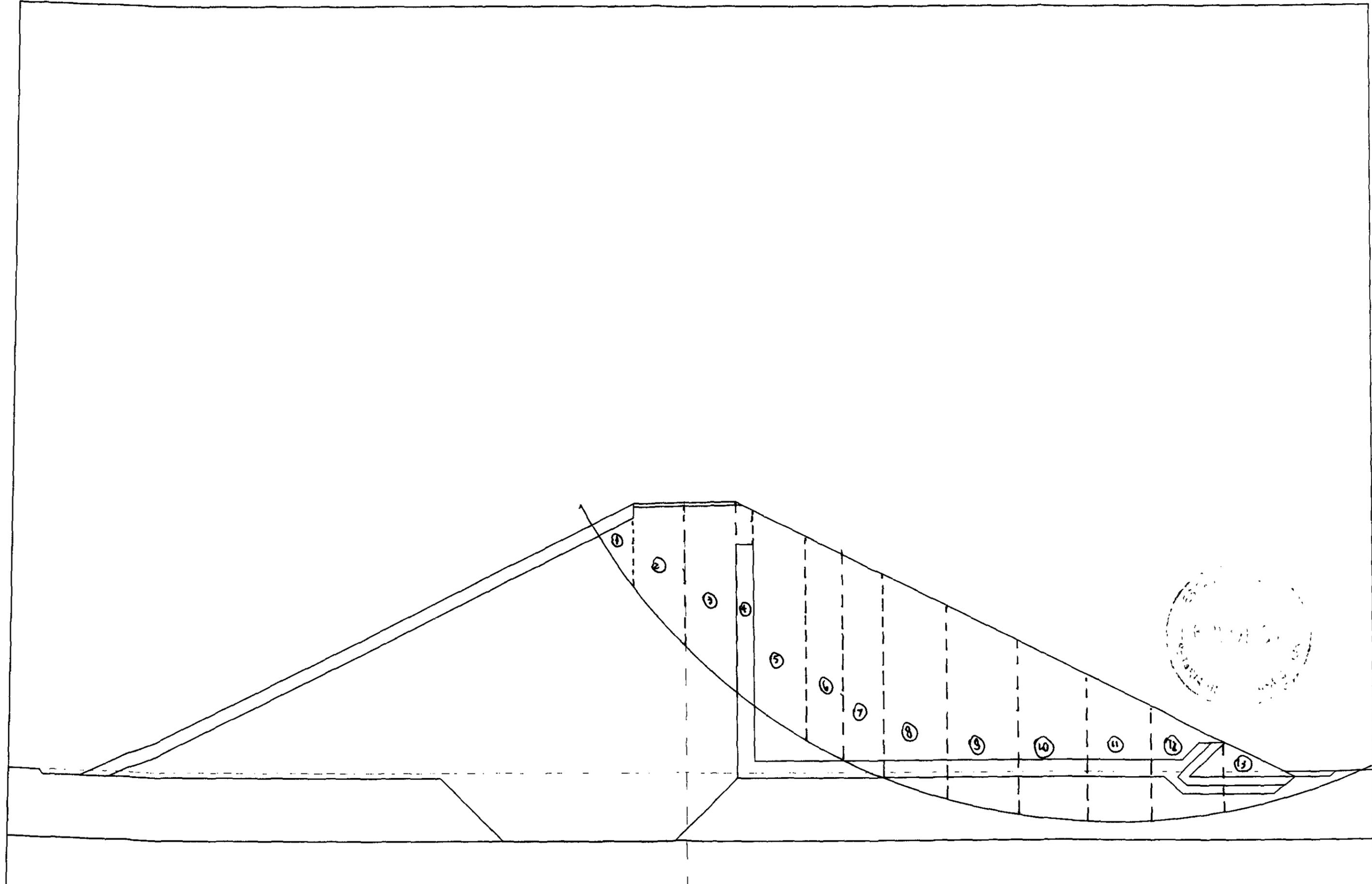


FINAL DA CONSTRUÇÃO
TALUDE DA JUSANTE

fatia	alfa	radia	base	h1	h2	area	peso	normal	tang
1	66	1,152	1	0	1,7	5,242	9,750	3,966	8,907
2	54	0,942	3,2	1,7	3,8	93,726	174,330	102,468	141,036
3	42	0,733	2,8	3,8	5,4	32,823	61,050	45,369	40,851
4	38	0,663	2,9	5,4	6,3	28,430	52,880	41,670	32,556
5	31	0,541	2,2	6,3	6	85,608	159,230	136,487	82,010
6	22	0,384	4,1	6	5,6	83,688	155,660	144,325	58,311
7	11	0,192	3,4	5,6	5	76,575	142,430	139,813	27,177
8	5	0,087	3,6	5	4,2	73,387	136,500	135,981	11,897
9	-6	-0,105	4	4,2	3	63,086	117,340	116,697	-12,265
10	-14	-0,244	3,7	3	1,5	48,677	90,540	87,851	-21,904
11	-22	-0,384	3,7	1,5	5,4	40,263	74,890	69,437	-28,054
12	-33	-0,576	2,9	5,4	6,3	18,817	35,000	29,353	-19,062
13	-40	-0,698	2,2	6,3	0	2,355	4,380	3,355	-2,815
SOMATORIO								1056,772	318,644

FS = 1,53

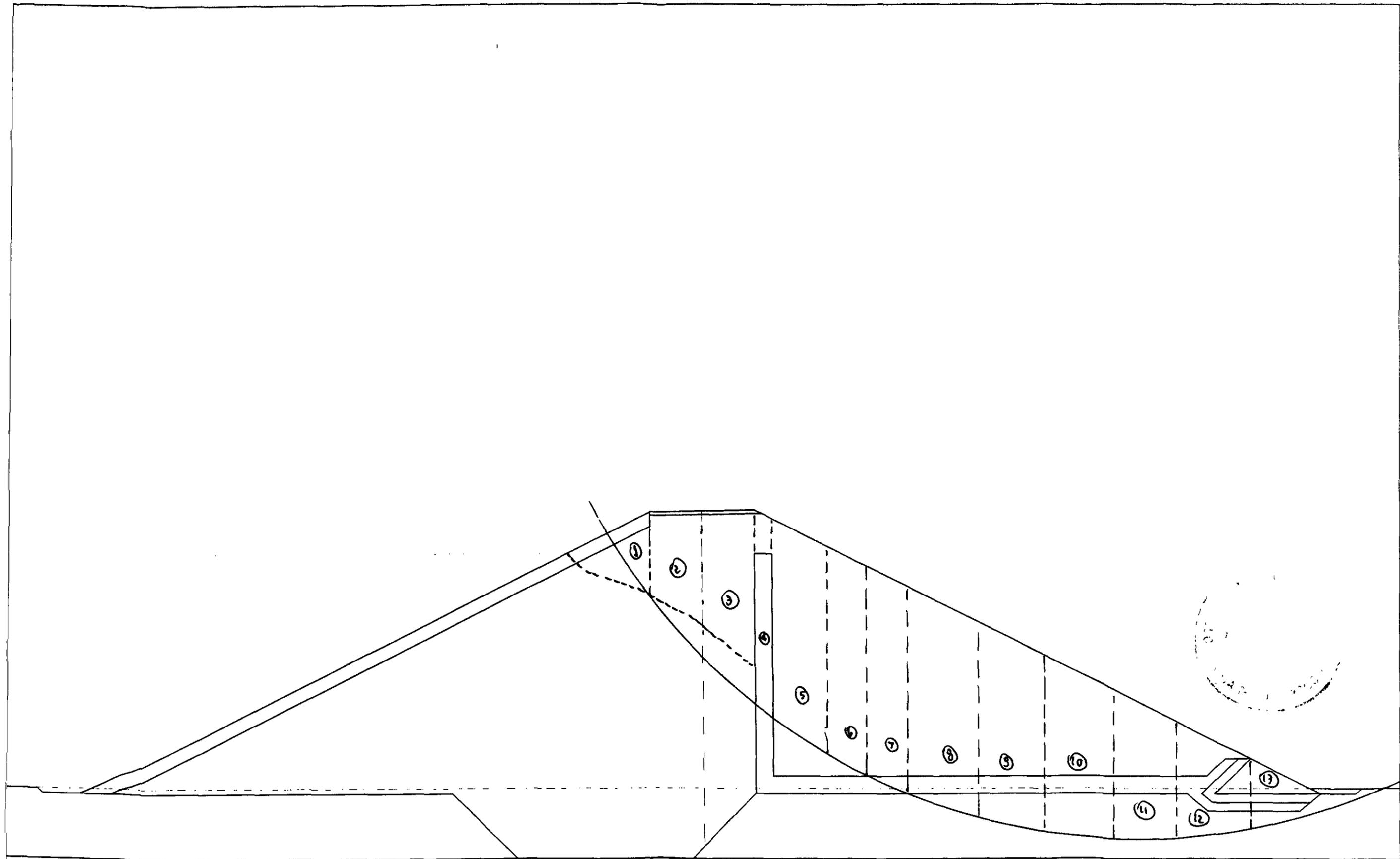
600032



F.S = 1,53

000033

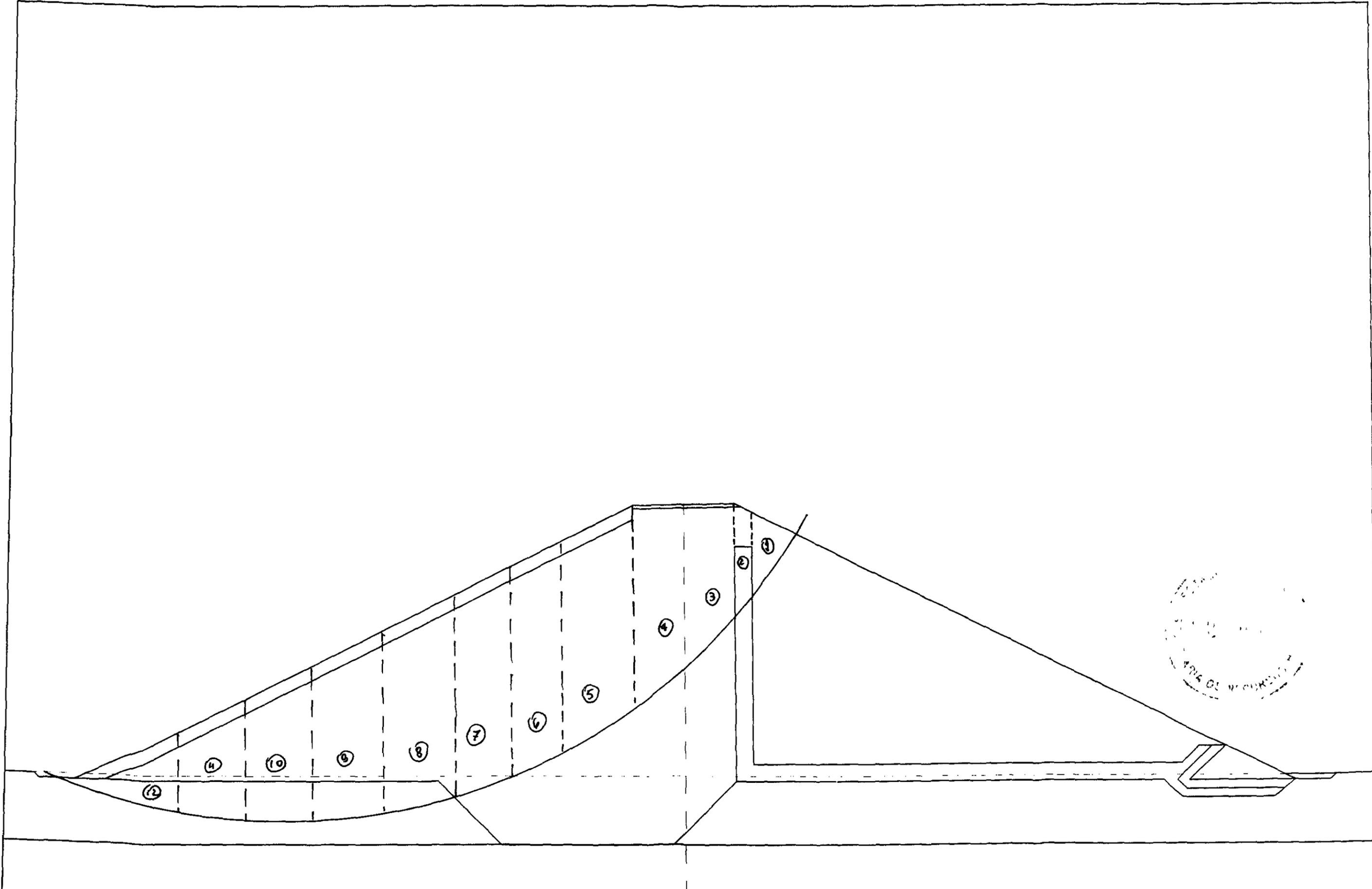
JUSANTE - FINAL DE CONSTRUÇÃO



F.S = 1,79

000034

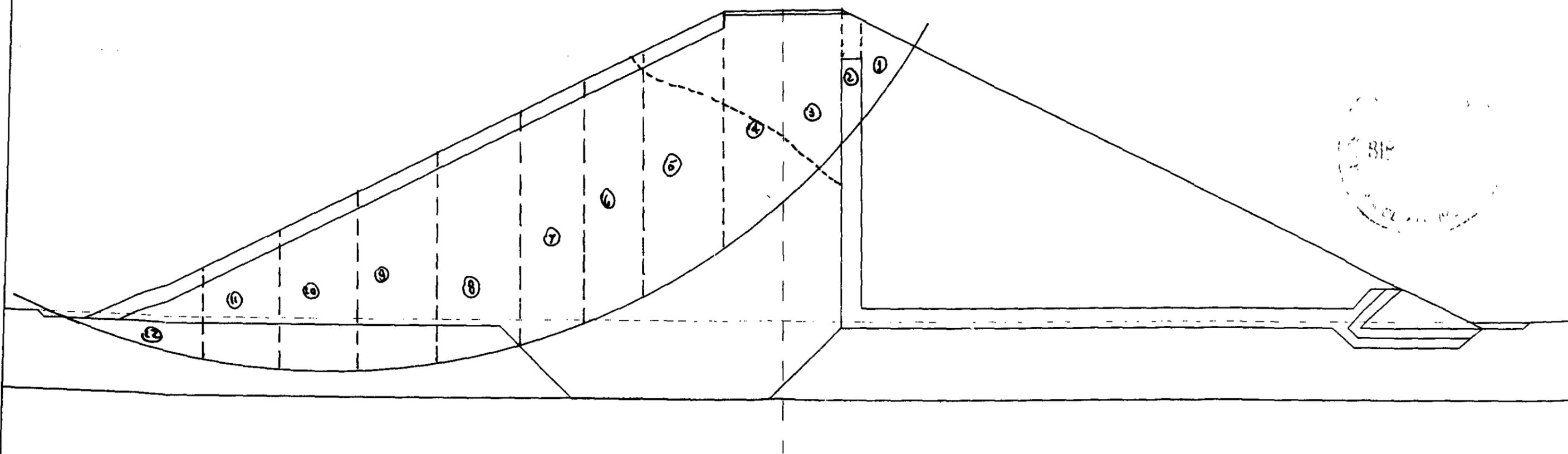
JUSANTE - REGIME PERMANENTE



F.S = 1,56

000035

MONTANTE - FINAL DE CONSTRUÇÃO



000036

MONTANTE - REGIME PERMANENTE