



Dezembro de 2002

**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**



**SRH** Secretaria dos Recursos Hídricos

## **Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PROGERIRH**

**Contrato**

**Nº 02/ PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001**

Estudos de Alternativas, EIAS/RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra / Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada

## **VOLUME III - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MISSI**

**Tomo 3 - Memória de Cálculo**



**MONTGOMERY WATSON**





MONTGOMERY WATSON



**GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ**

Benedito Clayton Veras Alcântara

**SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Hypérides Pereira de Macedo

**SUB-SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Ramon Flávio Gomes Rodrigues

**COORDENADOR GERAL DOS PROJETOS ESPECIAIS**

Francisco Hoilton Rios Araripe

**CONTRATO Nº 002/PROGERIRH - PILOTO/SRH/CE/2001****EQUIPE DE ELABORAÇÃO**

<b>CONSÓRCIO MONTGOMERY WATSON ENGESOFT</b>	<b>ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO DA SRH</b>
João F. Vieira Neto Engº. Civil Diretor Técnico Engesoft	Ivoneide Ferreira Damasceno Engª. Civil Presidente da Comissão
William Moler Geólogo Gerente do Contrato	Lucrecia Nogueira de Sousa Geóloga Membro da Comissão
Walmir Fernando Duarte Jardim Engº. Civil Coordenador do Projeto	Thereza Cristina Citó Rêgo Engª. Civil Membro da Comissão
José Ribamar Pinheiro Barbosa Engº. Civil Geotecnia e Barragem	Osvan Menezes de Queiroz Engº. Civil Membro da Comissão
Waldir Barbosa de Souza Rodrigues Engº. Civil Barragem	Maria Alice Guedes Geóloga Membro da Comissão
Alysson César Azevedo da Silva Engº. Civil Estudos Básicos e Topografia	Francisco José de Sousa Engº. Agrônomo Membro da Comissão
José Osmar Coelho Saraiva Engº. Civil Hidráulica e Adutora	Maria Elaine Bianchi Geógrafa Membro da Comissão
Sérgio Pontes Engº. Civil Hidráulica e Adutora	Francisco Dário Silva Feitosa Engº. Agrônomo Membro da Comissão
Naimar Gonçalves Barroso Severiano Economista Meio Ambiente e Reassentamento	Nelson L. de S. Pinto Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Marcos César Feitosa Geólogo Levantamento Cadastral	Paulo Teixeira da Cruz Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Paulo Silas de Sousa Engº. Agrônomo Levantamento Cadastral	Roneí Vieira de Carvalho Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Hermano Câmara Campos Geólogo Geologia e Geotecnia	
Raimundo Eduardo Silveira Fontenele Economista Avaliação Financeira e Econômica	



MONTGOMERY WATSON



## MEMÓRIA DE CÁLCULO

---



MONTGOMERY WATSON



## ÍNDICE

---

**ÍNDICE**

	<b>Páginas</b>
<b>MEMÓRIA DE CÁLCULO .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.0. CÁLCULO DA FOLGA .....</b>	<b>10</b>
<b>3.0. CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO .....</b>	<b>13</b>
<b>4.0. CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO.....</b>	<b>15</b>
<b>5.0. ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES.....</b>	<b>17</b>
<b>6.0. DIMENSIONAMENTO DO RIPRAP.....</b>	<b>20</b>
<b>7.0. DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA.....</b>	<b>23</b>
<b>8.0. DETERMINAÇÃO DA REDE DE FLUXO .....</b>	<b>27</b>
<b>9.0. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL.....</b>	<b>31</b>
<b>10.0. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL .....</b>	<b>33</b>
<b>11.0. ANÁLISE DA ESTABILIDADE.....</b>	<b>37</b>
<b>12.0. DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO .....</b>	<b>61</b>
<i>12.1. Dimensionamento hidráulico .....</i>	<i>62</i>
12.1.1. Muro Vertedouro .....	62
12.1.2. Dimensionamento da Bacia de Dissipação .....	69
<i>12.2. Análise de Estabilidade.....</i>	<i>75</i>
12.2.1. Muro Vertedouro .....	75
12.2.2. Muros Laterais.....	80
12.2.3. Muro Frontal.....	84
12.2.4. Laje do Fundo .....	84
12.2.5. Dimensionamento da Laje e dos Tirantes .....	85
12.2.5.1. Generalidades .....	85
12.2.5.2. Material Empregado .....	85
12.2.5.3. Verificação de Segurança .....	85



12.2.5.4. Cálculo de Esforços .....	85
12.2.5.5. Cálculo da Armadura.....	85
12.3. Canal de Restituição .....	86
<b>13.0. COTA DO VOLUME DE ALERTA.....</b>	<b>87</b>
<b>14.0. TOMADA D'ÁGUA.....</b>	<b>89</b>
14.1. Dimensionamento Hidráulico da galeria.....	90
14.2. Dimensionamento Estrutural .....	95
<b>15.0. ANÁLISE DOS RECALQUES .....</b>	<b>97</b>



MONTGOMERY WATSON



## 1. INTRODUÇÃO

---





## 1. INTRODUÇÃO

O Consórcio Montgomery-Watson/Engesoft e a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE) celebraram o Contrato N° 02/PROGERIRH-PILOTO /CE/SRH 2001, que tem como objetivo o Estudo de Alternativas, EIAs/RIMAs, Levantamentos Cadastrais, Plano de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra, Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada. A ordem de serviço foi emitida em 05 de março de 2001.

O presente trabalho compõe o Volume III – Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Missi em Miraima, Ceará, que é formado por sete Tomos, a saber:

- Tomo 1 – Relatório Geral do Projeto;
- Tomo 2 – Desenhos
- **Tomo 3 – Memória de Cálculo;**
- Tomo 4 – Especificações;
- Tomo 5 – Quantitativos e Orçamento;
- Tomo 6 – Planos de Operação e Manutenção;
- Tomo 7 – Relatório Síntese.

O Tomo 3, aqui apresentado, consiste na Memória de Cálculo que aborda os seguintes capítulos:

- Cálculo de Folga;
- Cálculo da Cota do Coroamento;
- Cálculo da Largura do Coroamento;
- Escolha da Indicação dos Taludes;
- Dimensionamento do Riprap;
- Determinação da Linha Freática;



- Determinação da Rede de Fluxo;
- Dimensionamento do Filtro Vertical;
- Dimensionamento do Tapete Horizontal;
- Análise da Estabilidade;
- Dimensionamento do Sangradouro;
- Dimensionamento da Bacia de Dissipação;
- Dimensionamento dos muros Laterais e Frontais;
- Dimensionamento de Laje e Tirantes;
- Cota do Volume Morto;
- Tomada d'água;
- Análise dos Recalques.



MONTGOMERY WATSON



## **2.0. CÁLCULO DA FOLGA**

---



## 2.0 CÁLCULO DA FOLGA

A folga da barragem é a diferença de cota entre o coroamento e o nível máximo das águas. A folga é dada pela expressão:

$$f = 0,75h + \frac{V^2}{2g}$$

Onde h é a altura da onda formada pela ação dos ventos sobre o espelho d'água do lago, enquanto h é dado por :

$$h = 0,75 + 0,34F^{1/2} - 0,26F^{1/4} (m) \text{ para } F < 18\text{Km}$$

$$h = 0,34F^{1/2} (m) \text{ para } F > 18\text{Km}$$

Onde F = distância máxima (em km) em linha reta entre qualquer extremidade do lago e um ponto qualquer sobre o barramento (fetch).

V = Velocidade da onda em m/s

Adotando  $V = 3,5\text{m/s}$  correspondente aos valores máximo da região.

Para o lago da barragem Missi tem-se  $F = 9,3\text{Km}$ , logo:

$$h = 0,75 + 0,34 \times 9,3^{1/2} - 0,26 \times 9,3^{1/4}$$

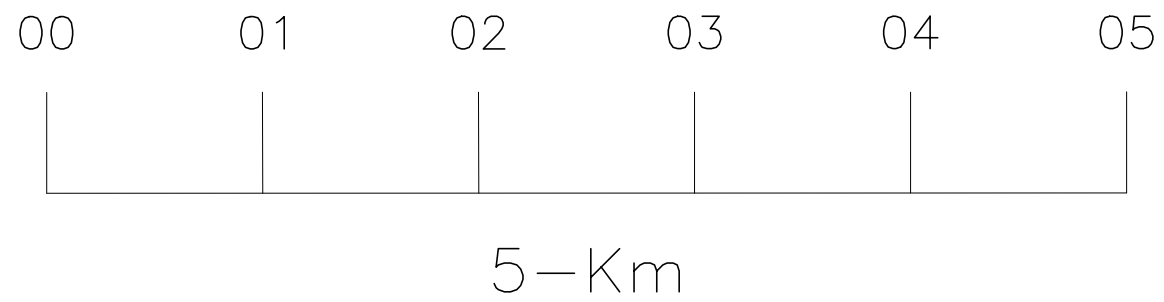
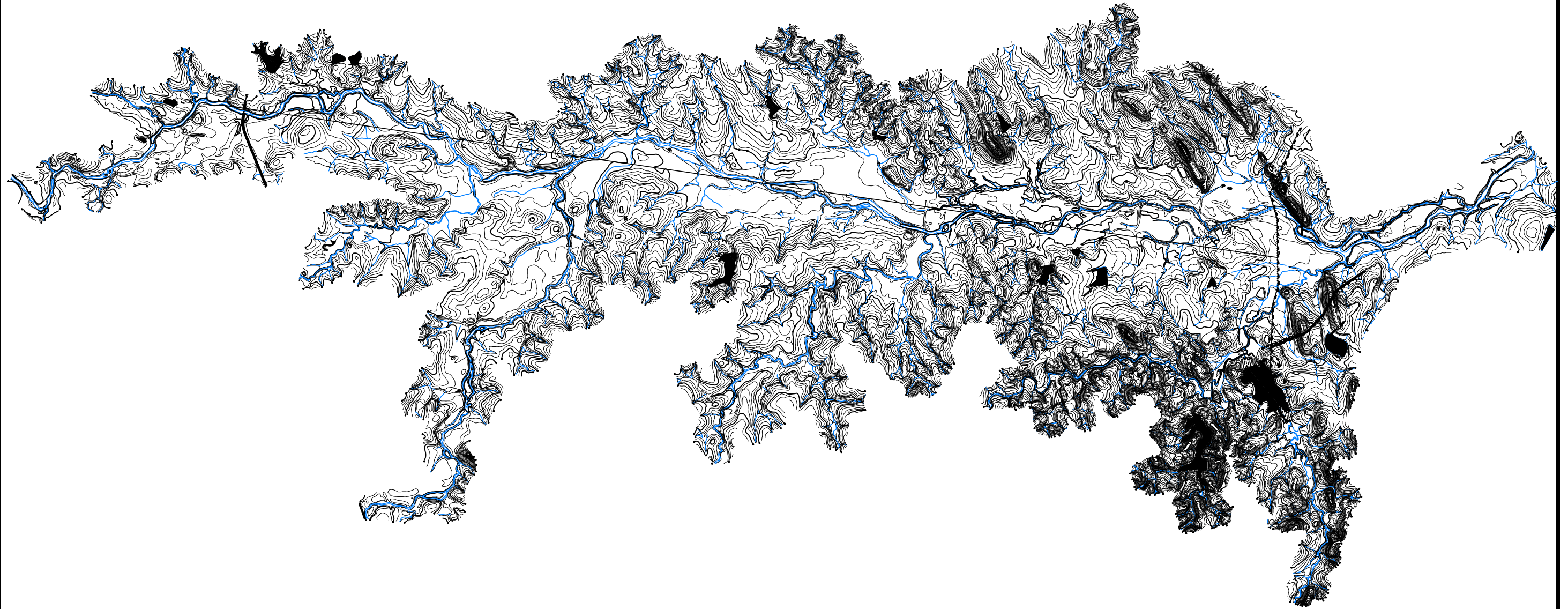
$$h = 1,33\text{m}$$

$$V = 3,5\text{m/s} \text{ (adotado)}$$

$$f = 0,75 \times 1,33 + \frac{3,5^2}{2 \times 9,81} = 1,62\text{m}$$

Na figura a seguir é apresentado o desenho de determinação do Fetch.

BACIA MISSI  
ESC-1/35.000





MONTGOMERY WATSON



### **3.0. CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO**

---



### 3.0. CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO

A cota do Coroamento da Barragem é dada pela expressão:

$$C_c = C_s + L + f$$

Onde:

$C_c$  = Cota do Coroamento.

$C_s$  = Cota da Soleira = 54,70m.

$L$  = Lâmina vertente na cheia milenar = 1,51m.

$f$  = folga = 1,62m.

$$C_c = 54,70 + 1,51 + 1,62 = 57,83m$$

Foi adotado o limite topográfico existente que é 57,80m um pouco inferior ao calculado.



MONTGOMERY WATSON



#### **4.0. CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO**

---





#### 4.0. CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO

Adotando-se a fórmula de Preece à seção de maior altura tem-se:

$$L_c = 1,10\sqrt{H_b} + 0,9 \text{ (m)}$$

Onde:

$L_c$  = Largura da barragem (m);

$H_b$  = Altura da barragem (m).

Para a seção da Estaca 33 tem  $H_b = 17,13\text{m}$  e  $L_c = 1,10 \times \sqrt{17,13} + 0,90 = 5,45\text{m}$ , foi adotado  $L_c = 6,0\text{m}$ .



MONTGOMERY WATSON



## 5.0. ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES

---



## 5.0. ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES

A fixação dos taludes foi resultado de análise da estabilidade. Entretanto foi necessário se fazer uma escolha inicial para em seguida se fazer a análise.

O Bureau of Reclamation apresenta a tabela abaixo:

CASO	SUJEITO A ESVAZIAMENTO RÁPIDO	CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	MONTANTE	JUSANTE
A	NÃO	GW, GP, SW, SP	Permeável, não adequado	
		GC, GM, SC, SM	2,5 : 1	2:1
		CL, ML	3:1	2,5:1
		CH, MH	3,5:1	2,5:1
B	SIM	GW, GP, SW, SP	Permeável, não adequado	
		GC, GM, SC, SM	3:1	2:1
		CL, ML	3,5:1	2,5:1
		CH, MH	4:1	2,5:1

Terzaghi apresentou, para efeito de anteprojeto, as inclinações aconselháveis que são mostrados no quadro a seguir:

TIPO DE MATERIAL	TALUDES	
	MONTANTE	JUSANTE
Seção Homogênea – Solo bem graduado	1 : 2,5	1 : 2
Seção Homogênea – Silte grosso	1 : 3	1 : 2,5
Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura menor que 15m	1 : 2,5	1 : 2
Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura maior que 15m	1 : 3	1 : 2,5
Areia ou Pedregulho e areia com núcleo de Argila	1 : 3	1 : 2,5
Areia ou Pedregulho com cortina de concreto armado	1 : 2,5	1 : 2

O engenheiro Paulo Teixeira da Cruz em sua obra 100 Barragens Brasileiras sugere os seguintes taludes preliminares que são mostrados na tabela abaixo:

TIPO DE MATERIAL	MONTANTE	JUSANTE
Solos Compactados	2:5(H) : 1,0(V) 3,0(H) : 1,0(V)	2:0(H) : 1,0(V)
Solos Compactados Argilosos	2:0(H) : 1,0(V) 3,0(H) : 1,0(V)	2:0(H) : 1,0(V) 2,5(H) : 1,0(V)
Solos Compactados Siltosos	3,5(H) : 1,0(V)	3,0(H) : 1,0(V)
Enrocamentos	1:3(H) : 1,0(V) 1,6(H) : 1,0(V)	1:3(H) : 1,0(V) 1,6(H) : 1,0(V)



MONTGOMERY WATSON



Os solos das Jazidas J-01, J-02 e J-03 são do Tipo CL, portanto analisando as tabelas juntamente com os materiais que serão usados na construção adotou-se para análise os taludes de Montante de 1:2,5 (V:H) e Jusante de 1:2 (V:H) com berma de 4,0m de largura na cota 44,00m.



MONTGOMERY WATSON



## **6.0. DIMENSIONAMENTO DO RIPRAP**

---



## 6.0. DIMENSIONAMENTO DO RIPRAP

Adotando a fórmula recomendado pelo Tennessee Valley Authority (TVA) tem-se:

$$e = CV^2$$

Onde:

$e$  = Espessura do riprap (m);

$C$  = Coeficiente, função da inclinação do talude e da densidade da rocha;

$V$  = Velocidade da onda (m/s).

Tem-se :

$$V = 3,5^2 \text{ m/s}$$

$$C = 0,030$$

$$e = 0,030 \times 3,5^2 = 0,36 \text{ m}$$

O Rip-Rap da Barragem Missi será executado com Brita "A" e pedras do enrocamento de pé, da seguinte forma:

- Até a cota 44,00 será colocado uma proteção de Brita "A" com 0,30m de espessura;
- Entre as cotas 44,00 e 49,00 será colocado uma proteção de Brita "A" com 0,50m de espessura;
- Acima da cota 49,00 será colocado uma proteção com 1,20m de espessura, sendo a camada interna com 0,30m de espessura com Brita "A" e a camada externa com 0,90m de espessura executadas com as pedras do enrocamento de pé.

As faixas granulométrica da Brita "A" e do enrocamento de pé são mostrados a seguir:



<b>MATERIAL DA BRITA "A"</b>	
<b>PENEIRAS mm</b>	<b>% PASSANDO</b>
300	100
100	88 - 100
30	50- 90
10	10 - 64
5	0 - 36
1	0 - 2

<b>MATERIAL DE ENROCAMENTO</b>	
<b>PENEIRAS mm</b>	<b>% PASSANDO</b>
1000	90 - 100
500	58 - 94
100	4 - 60
30	0 - 20



MONTGOMERY WATSON



## **7.0. DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA**

---





## 7.0. DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA

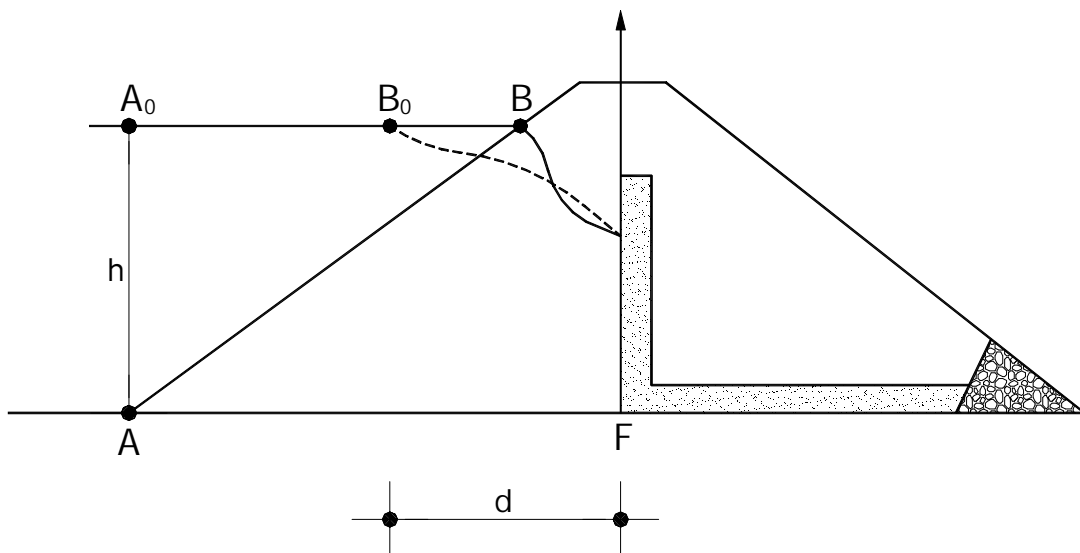
Para o traçado da linha freática utiliza-se a parábola de Kozeny dada por:

$$\sqrt{X^2 + Y^2} - X - P = 0$$

Esta equação representa a linha de saturação com eixo cuja a origem coincide com o foco da parábola,  $P$  é o dobro da distância do Foco ao vértice da parábola:

$$P = \sqrt{X^2 + Y^2} - X$$

Na figura tem-se  $B_0B = \frac{1}{3}A_0B$



Adotando uma anisotropia de  $\frac{K_h}{K_v} = 9$ , e fazendo uma mudança de variável tal que

$X = X_t$ , onde  $X_t = \sqrt{\frac{K_v}{K_h}} \cdot X$ . Pode-se tratar o problema no sistema  $(X_t ; Y)$  de

coordenadas como isotrópico. Desta forma tem-se :

$$P = \sqrt{X_t^2 + Y^2} - X_t ;$$

para  $X_t = d$  e  $Y = h$ , tem-se :



$$P = \sqrt{d^2 + h^2} - d$$

Para  $d = 7,8$  e  $h = 15,71$  tem-se:

$$p = 9,73m$$

Rearranjando a equação básica obtém-se:

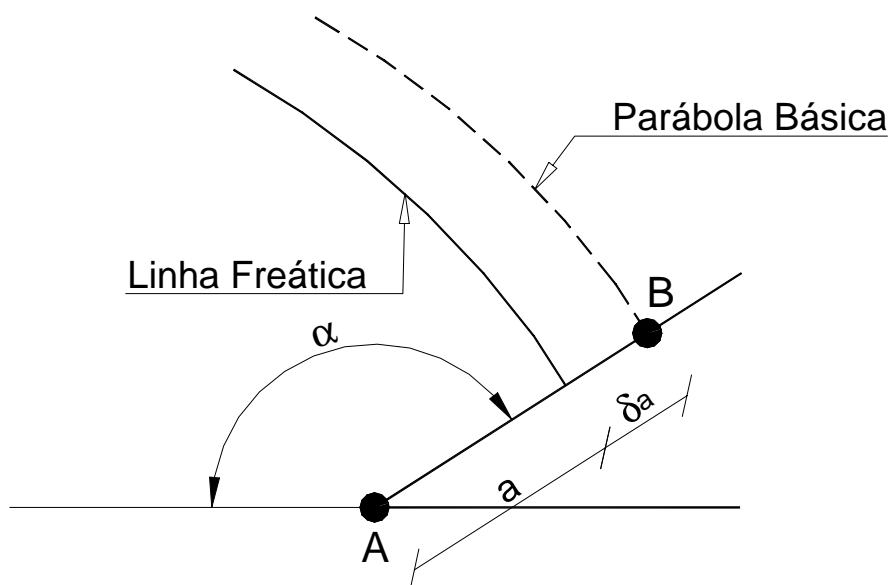
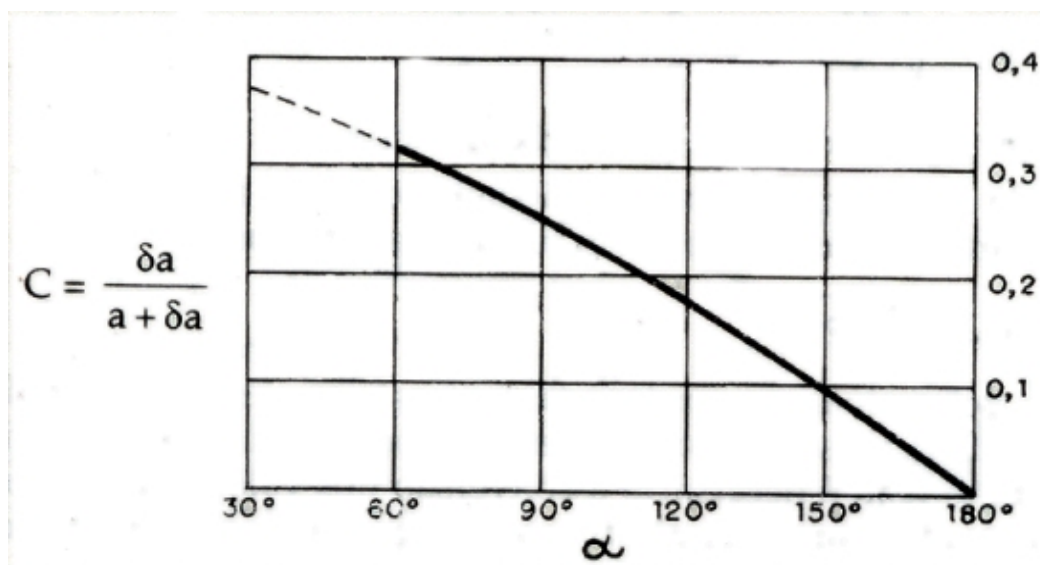
$$Y = \sqrt{P^2 + 2 \cdot X_t \cdot P}$$

Atribuindo valores a  $X_t$  obtém-se  $Y$ , conforme planilha a seguir:

$X_t$	$Y$
0	9,53
2,00	11,55
4,00	13,13
6,00	14,54
7,80	15,71

$Y_{\text{corrigido}}$  correspondente às correções da parábola básica na entrada de montante e saída de jusante.

A correção da saída é função do ângulo que a superfície drenante forma com a horizontal dada pela figura abaixo:



Tem-se :

$$a + \delta a = AB$$

Para  $\alpha = 90^\circ$ , tem-se  $C = 0,25$

$$a + \delta a = 9,73m$$

$$\delta a = 2,43m$$



MONTGOMERY WATSON



## **8.0. DETERMINAÇÃO DA REDE DE FLUXO**

---



## 8.0. DETERMINAÇÃO DA REDE DE FLUXO

O traçado da Rede de Fluxo foi feito sobre a seção deformada considerando o maciço da Barragem e fundação com a mesma permeabilidade para facilidade da construção.

O traçado da Rede de Fluxo obedeceu às condições de contorno. Embora o problema trate de um fluxo não confinado, ou seja, aquela onde a Linha Freática não é definida, foi adotado a Linha Freática obtida da parábola de Kozeny, fazendo as condições de entrada e saída.

A Rede de Fluxo para as seções transformada e verdadeira são mostradas nas figuras a seguir.

A carga de 15,71m foi dividida em cinco saltos de queda de potencial. Foi considerada um maciço rochoso permeável com 20,0 metros de espessura e permeabilidade de  $k_f = 7,0 \times 10^{-7} m / s$ .

O Fluxo pelo maciço da Barragem se dá desde o paramento de montante até o filtro vertical em 4,3 canais de fluxo. Já no maciço de fundação o fluxo se dá desde de montante até a saída em jusante em 3,5 canais de Fluxo.

As vazões no maciço da Barragem e no maciço de fundação são dados por:

$$Q = K \cdot H \cdot \frac{N_f}{N_d}$$

Para o maciço da Barragem tem-se:

$$K = 7,0 \times 10^{-9} m / s$$

$$H = 15,71m$$

$$N_f = 4,3$$

$$N_d = 5$$



Logo:

$$Q_M = 7,0 \times 10^{-9} \times 15,71 \times \frac{4,3}{5} = 9,46 \times 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{s} \times \text{m}$$

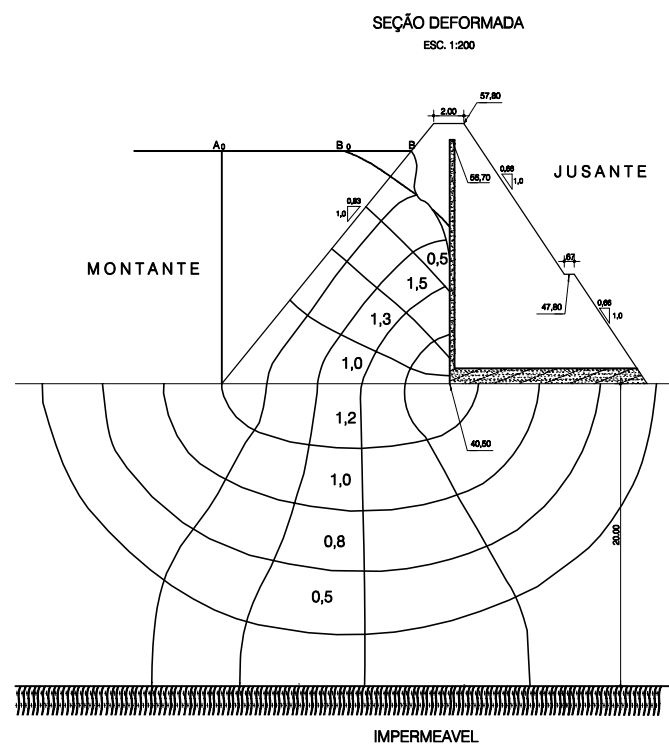
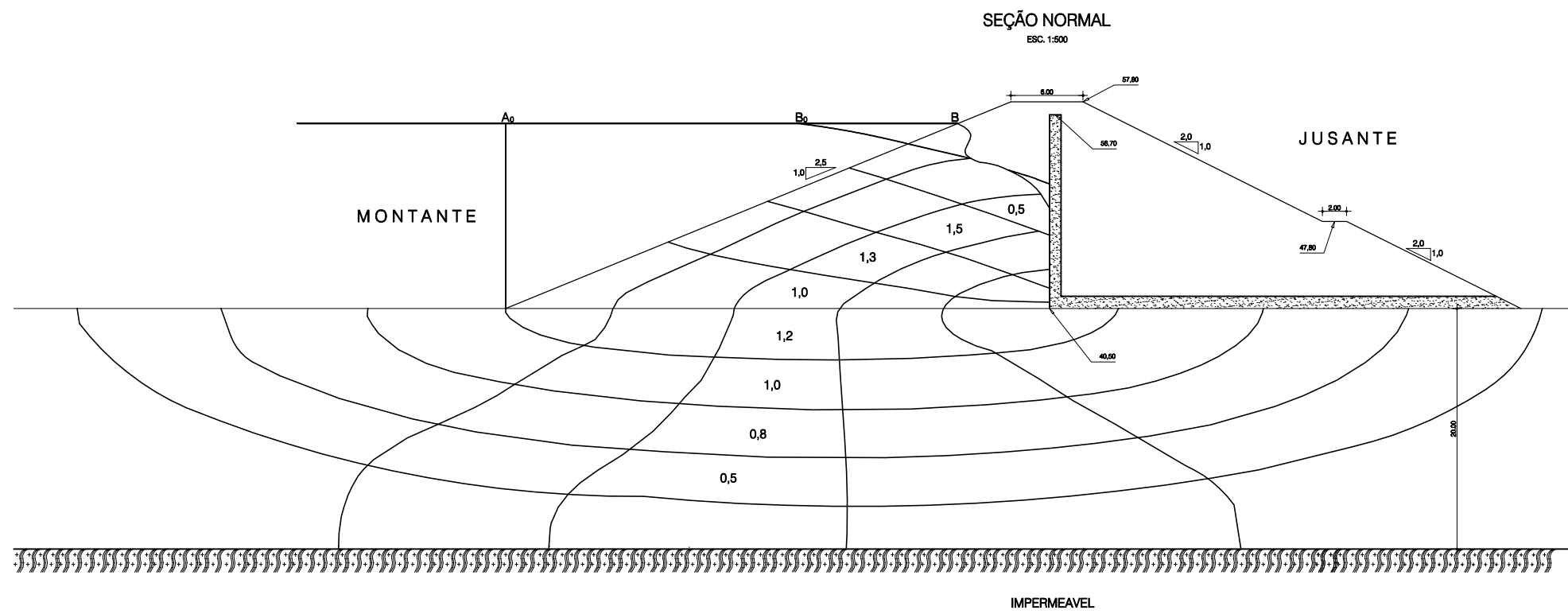
Para o maciço de fundação tem-se:

$$Q_f = 7,0 \times 10^{-7} \times 15,71 \times \frac{3,5}{5} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s} \times \text{m}$$

A vazão total que sairá no tapete horizontal será:

$$Q_t = Q_m + Q_f \cong Q_f = 1,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s} \times \text{m}$$

# SEÇÃO VERDADEIRA





MONTGOMERY WATSON



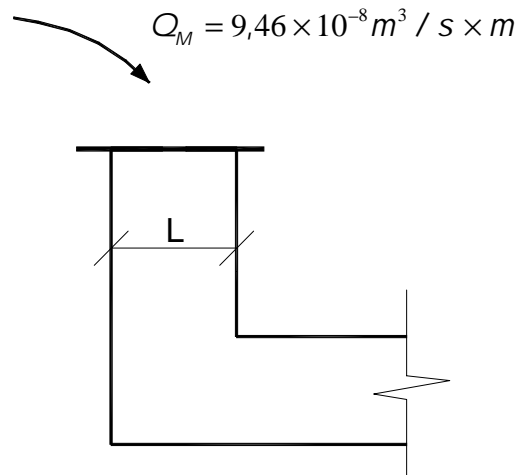
## **9.0. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL**

---





## 9.0. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL



$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$A = L \times 1,0$$

$$i = 1,0$$

$$K_a = 6,8 \times 10^{-5} \text{ m / s}$$

$$Q = K \cdot i \cdot L$$

$$L = \frac{Q}{K \cdot i} = \frac{9,46 \times 10^{-8}}{6,8 \times 10^{-5} \times 1,0} = 1,39 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Adotou-se  $L = 1,0 \text{ m}$ , por questões construtivas, principalmente porque indica-se a construção do filtro através da escavação de camada de solo já executada.



MONTGOMERY WATSON



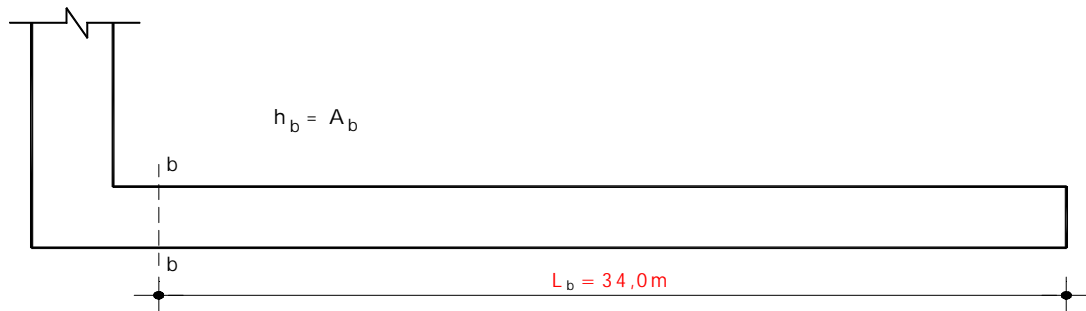
## **10.0. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL**

---



## 10.0. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL

A vazão na seções final do tapete é de  $1,0 \times 10^{-5} m^3 / s \times m$ .



$$K_b = \frac{Q}{i \cdot A_b}$$

$$h_b = A_b$$

$$i = \frac{h_b}{L_b}$$

$$K_b = \frac{Q_b}{\left(\frac{h_b}{L_b}\right) \cdot A_b} = \frac{Q_b \cdot L_b}{A_b^2}$$

$$A_b^2 = \frac{Q_b \cdot L_b}{K_b}$$

$$A_b = \sqrt{\frac{1,0 \times 10^{-5} \times 34}{K_b}}$$

$$A_b = \sqrt{\frac{3,4 \times 10^{-4}}{K_b}}$$

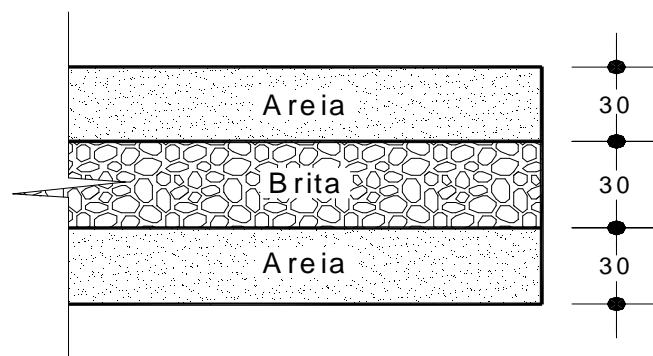
Usando apenas areia com  $K_A = 6,8 \times 10^{-5} m / s$ , tem-se :



$$A_b = \sqrt{\frac{3,4 \times 10^{-4}}{6,8 \times 10^{-5}}} = 2,23m .$$

Adotando um tapete drenante formado por duas camadas de areia grossa e uma de brita. As camadas tem 0,30m de espessura.

A permeabilidade da brita é de  $K_b = 10^2 m / s$ .



A permeabilidade equivalente do dreno Sanduíche será:

$$K_{eq} = \frac{0,60K_A + 0,3K_b}{0,90} = 3,3 \times 10^{-3} m / s$$

Para essa permeabilidade a espessura necessária será:

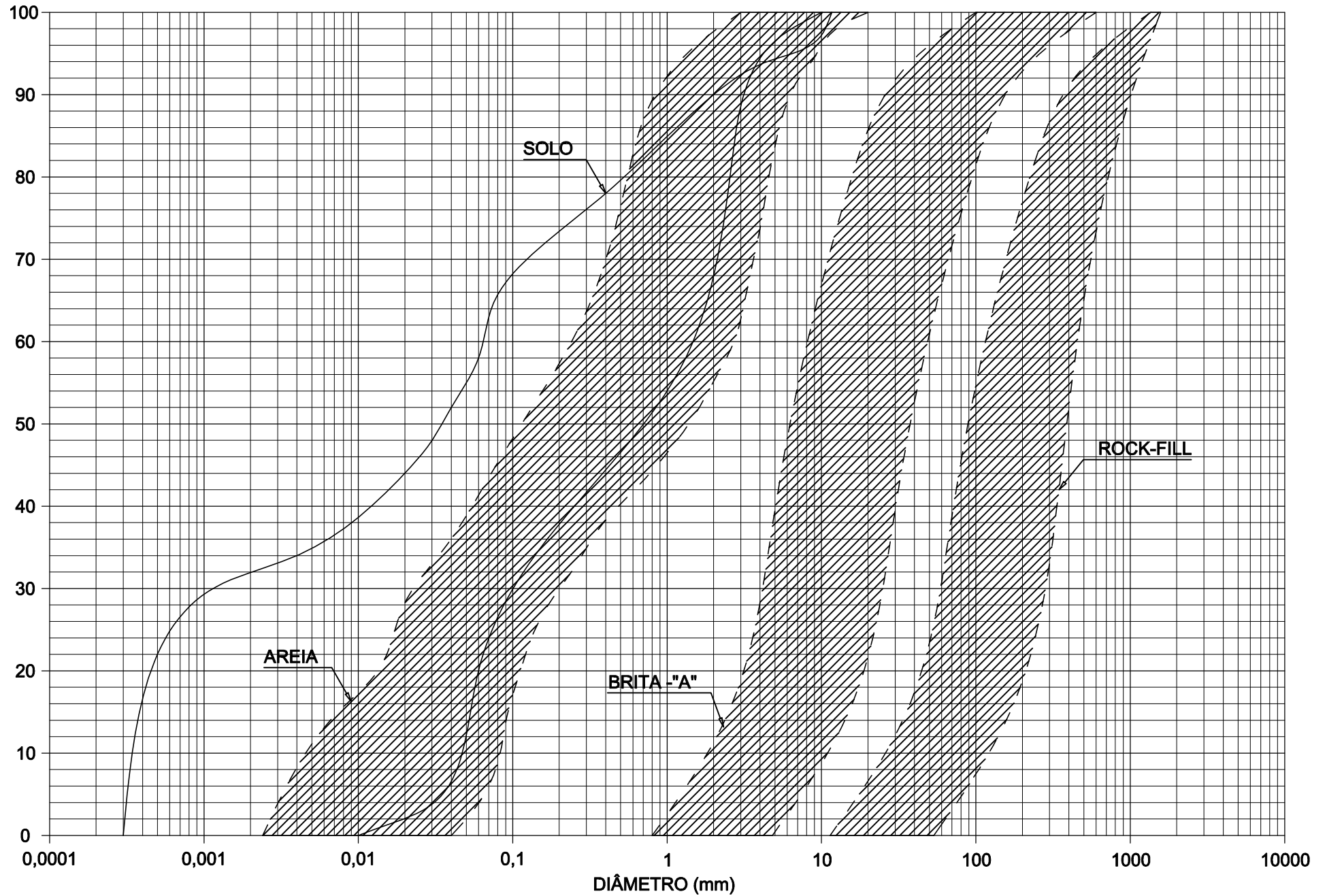
$$A_b = h_b = \sqrt{\frac{3,4 \times 10^{-4}}{3,3 \times 10^{-3}}} = 0,32m \text{ OK!}$$

As curvas granulométricas para as camadas de areia e brita são apresentadas na figura a seguir. As curvas granulométricas foram definidas a partir dos princípios de Bertram<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Bertram, G.E, " Na Experimental Investigation of Protective Filters", Public. Grad. Sch. Of Eng. Harvard Univ., Cambridge, 1940.

# FAIXA GRANULOMÉTRICA AREIA / BRITA - "A" / ROCK-FILL





MONTGOMERY WATSON



## **11.0. ANÁLISE DA ESTABILIDADE**

---



## 11.0. ANÁLISE DA ESTABILIDADE

A análise da estabilidade foi verificada para as situações estática e sísmica. Utilizou-se o programa Geo-Slope/W que usa o método de Bishop Modificado.

Analisou-se as seguintes situações:

- Final de Construção – análise feita para os taludes de montante e jusante;
- Regime Permanente – análise feita no talude de jusante;
- Esvaziamento Rápido – análise feita no talude de montante.

A análise sísmica foi feita pelo processo pseudo-estático introduzindo um fator de aceleração da gravidade. Para as análises de Regime Permanente adotou-se o fator igual a 0,07.

Para as análises de Final de Construção e rebaixamento rápido adotou-se o fator igual a 0,07.

Os resultados das análises de estabilidade são apresentados a seguir.

Na tabela a seguir é apresentado o fator mínimo determinado em cada análise de estabilidade:

### Barragem Missi - Estabilidade

SITUAÇÃO	TALUDE	FATOR DE SEGURANÇA		
		Determinado		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção	Montante	1,974	1,676	1,686
	Jusante	1,642	1,628	1,652
Final de Construção – Terremoto	Montante	1,465	1,314	1,407
	Jusante	1,384	1,374	1,398
Reservatório Cheio	Jusante	1,642	1,512	1,601
Reservatório Cheio – Terremoto	Jusante	1,381	1,277	1,346
Esvaziamento Rápido	Montante	1,629	1,579	1,629
Esvaziamento Rápido - Terremoto	Montante	1,363	1,342	1,394

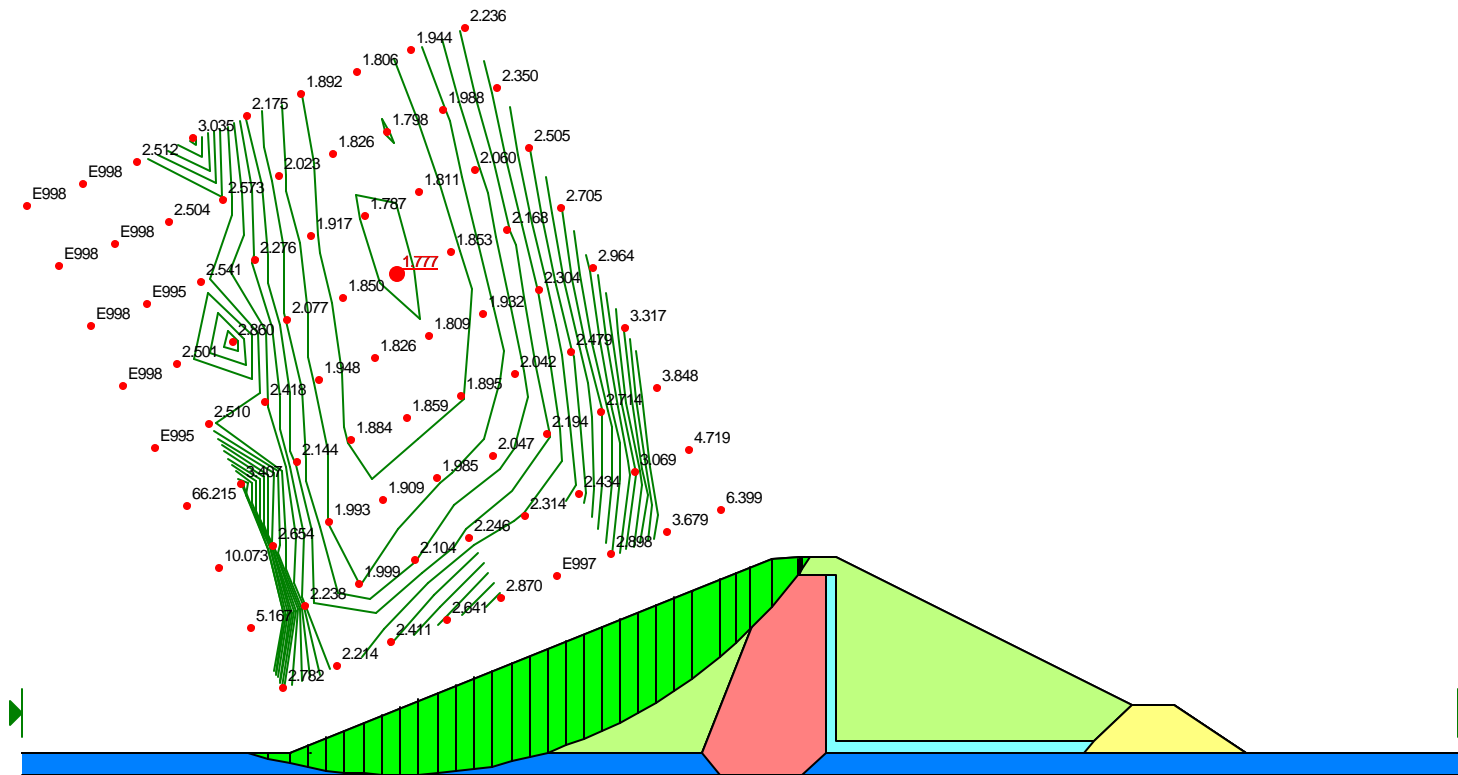
Todos os fatores de segurança encontrados foram superiores aos coeficientes de segurança mínimos recomendados em bibliografia.





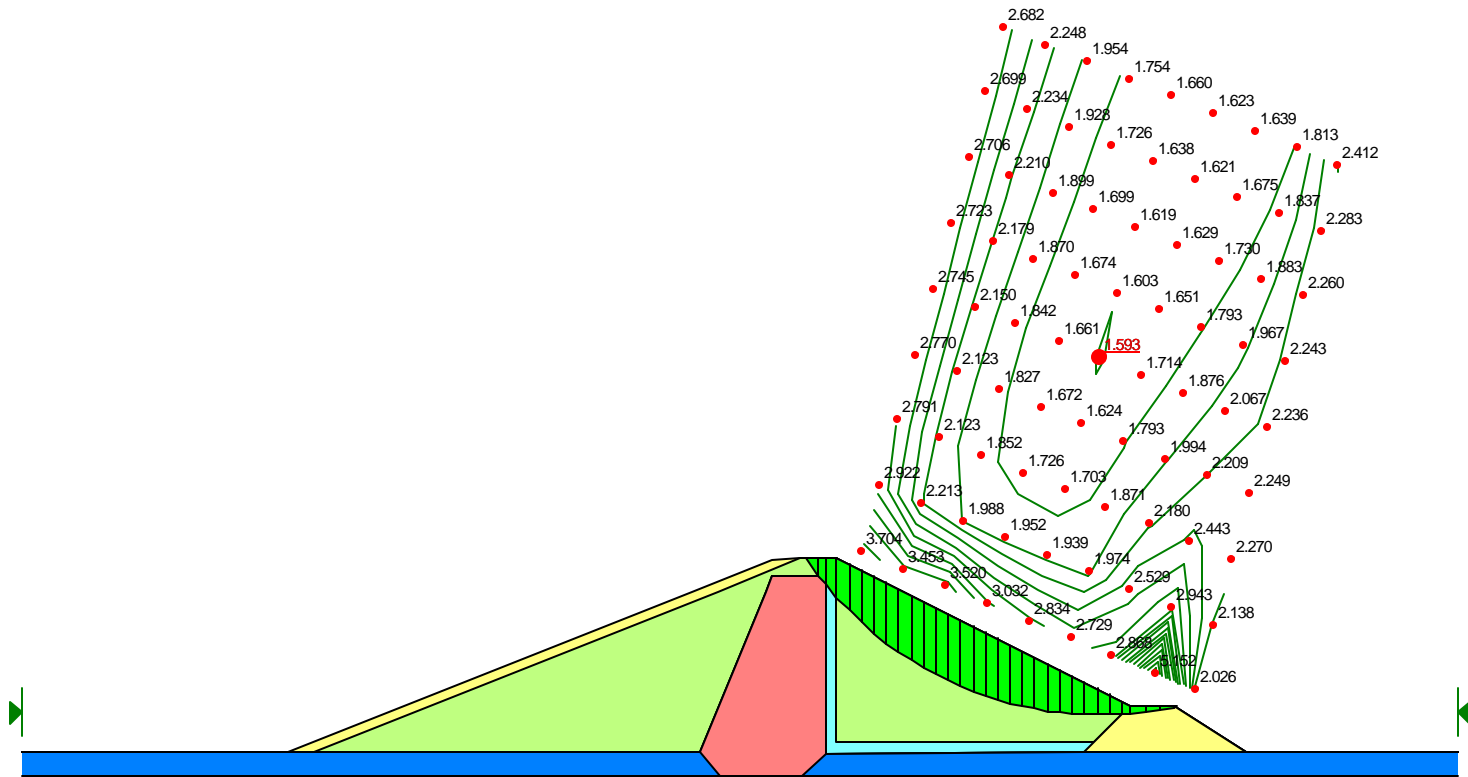


Comments:  
File Name: Mfcmp.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 18:13:20  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Right to Left  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: (none)



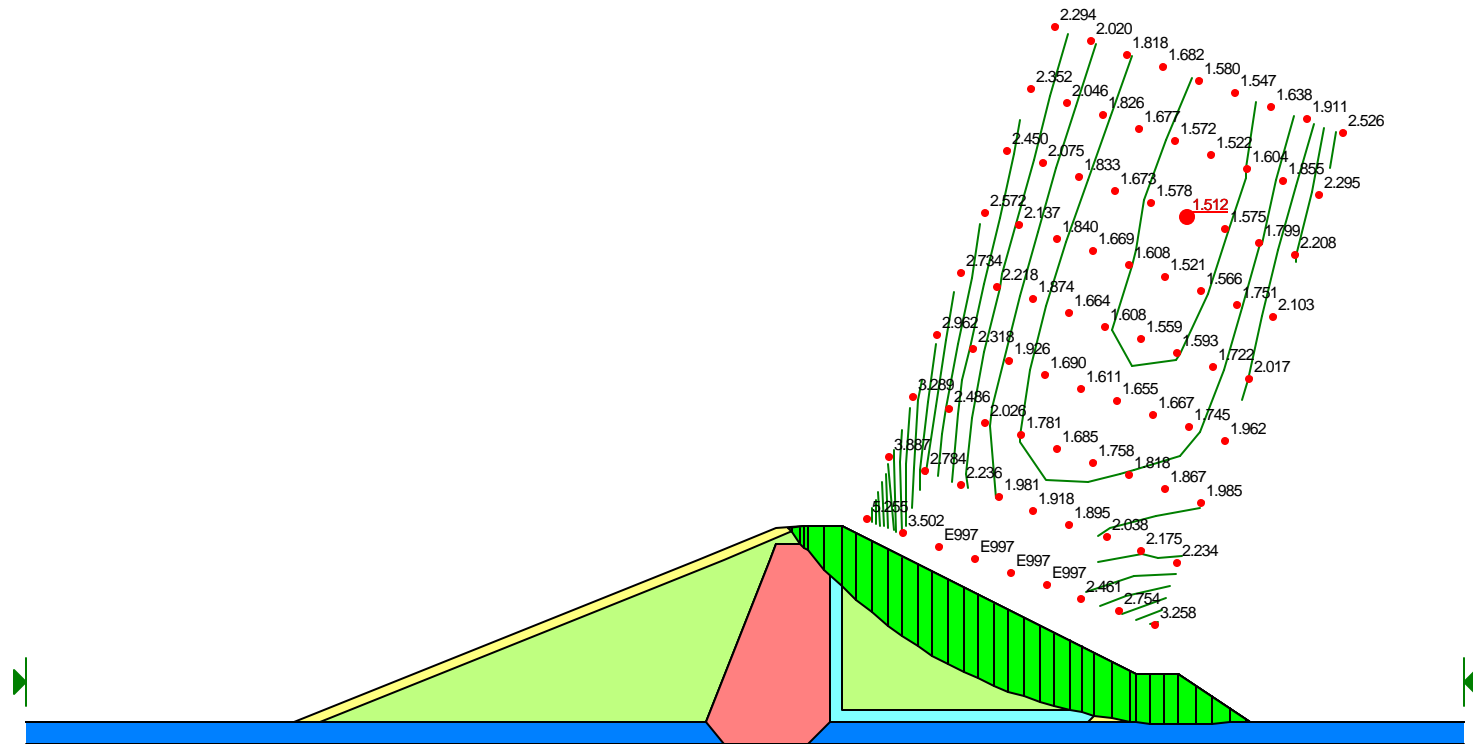
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA PROFUNDA

Comments:  
File Name: Mfcjs.slp  
Last Saved Date: 26/04/02  
Last Saved Time: 11:49:16  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: (none)



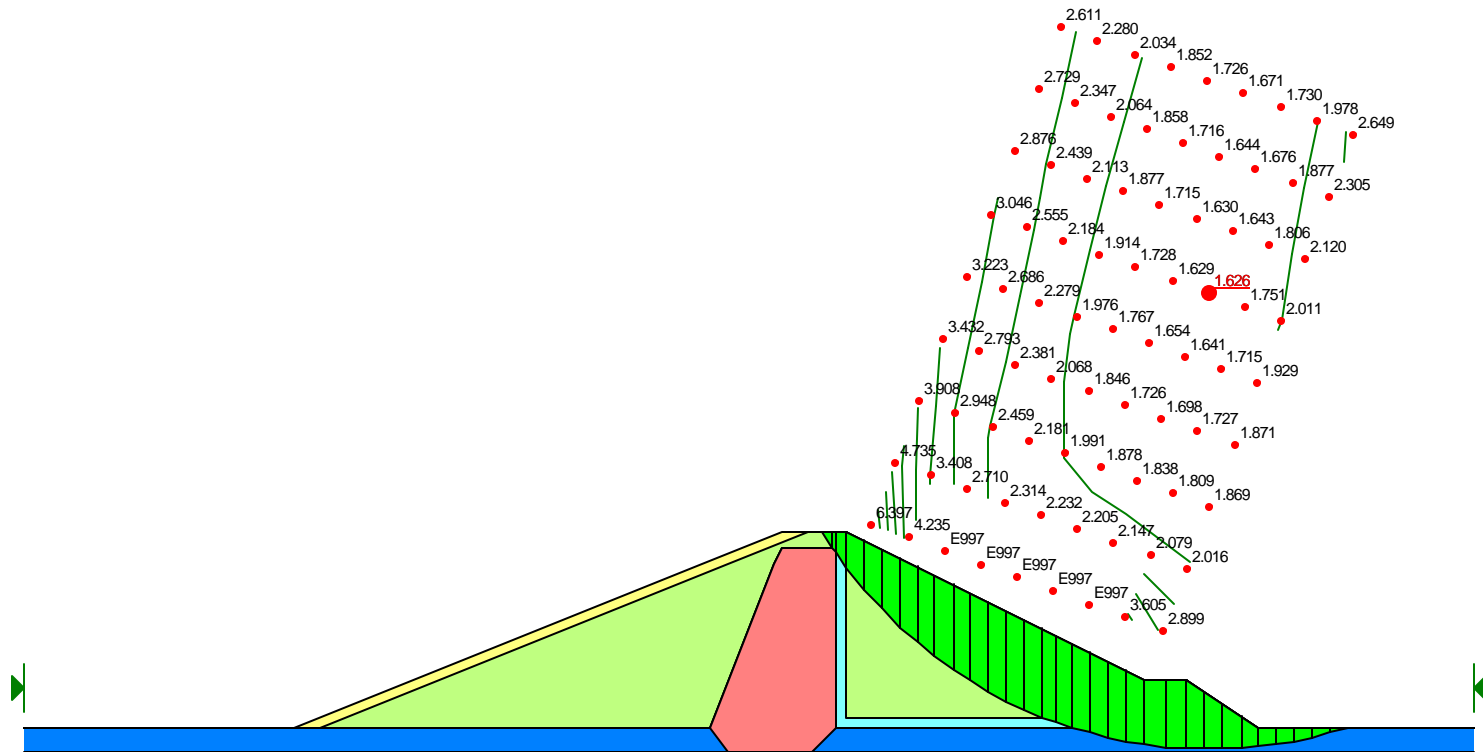
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA SUPERFICIAL

Comments:  
File Name: MFCJI.slp  
Last Saved Date: 24/04/02  
Last Saved Time: 21:29:06  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: (none)



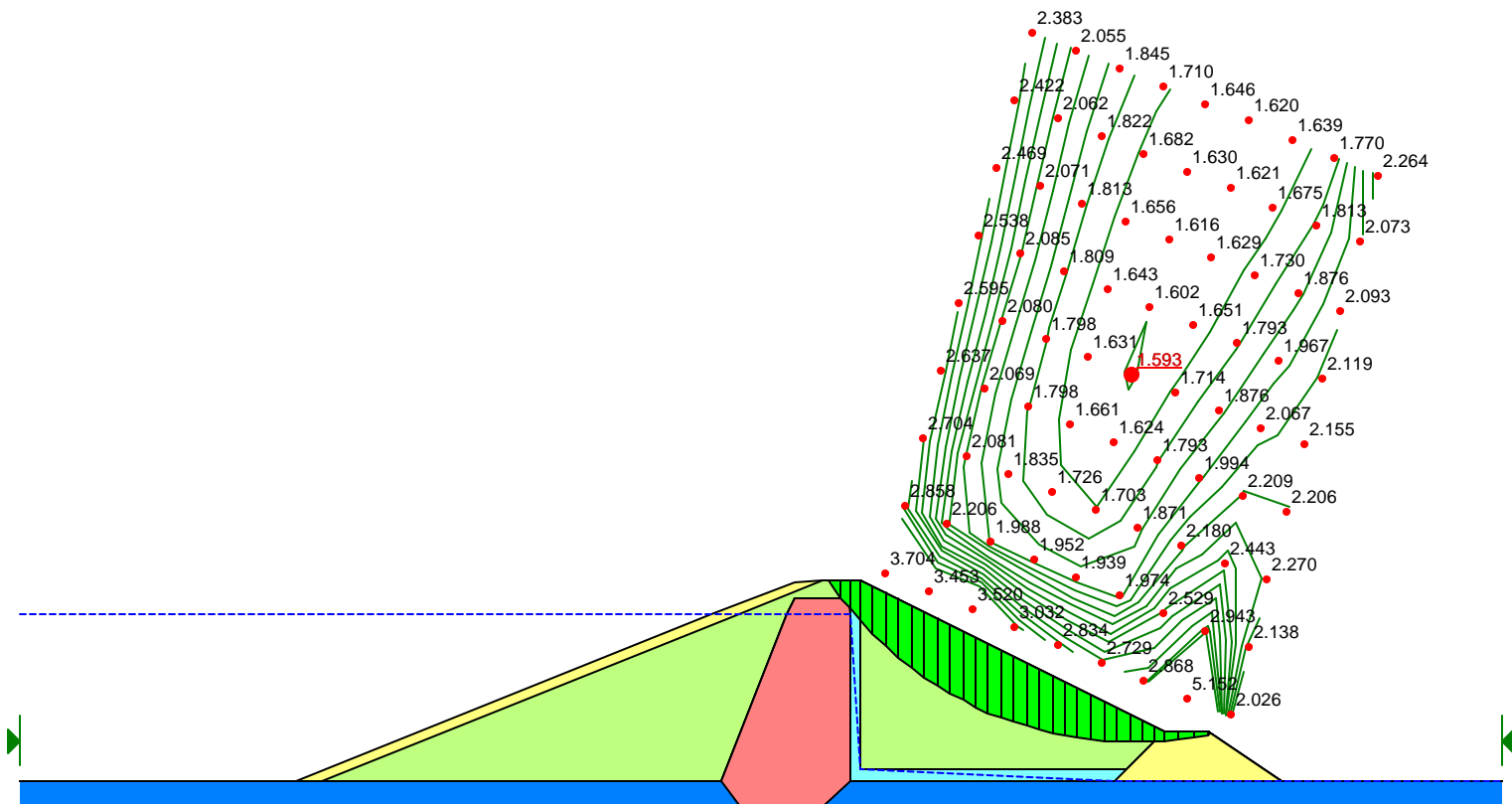
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA INTERMEDIÁRIA

Comments:  
File Name: MFCJP.slp  
Last Saved Date: 24/04/02  
Last Saved Time: 21:32:03  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: (none)



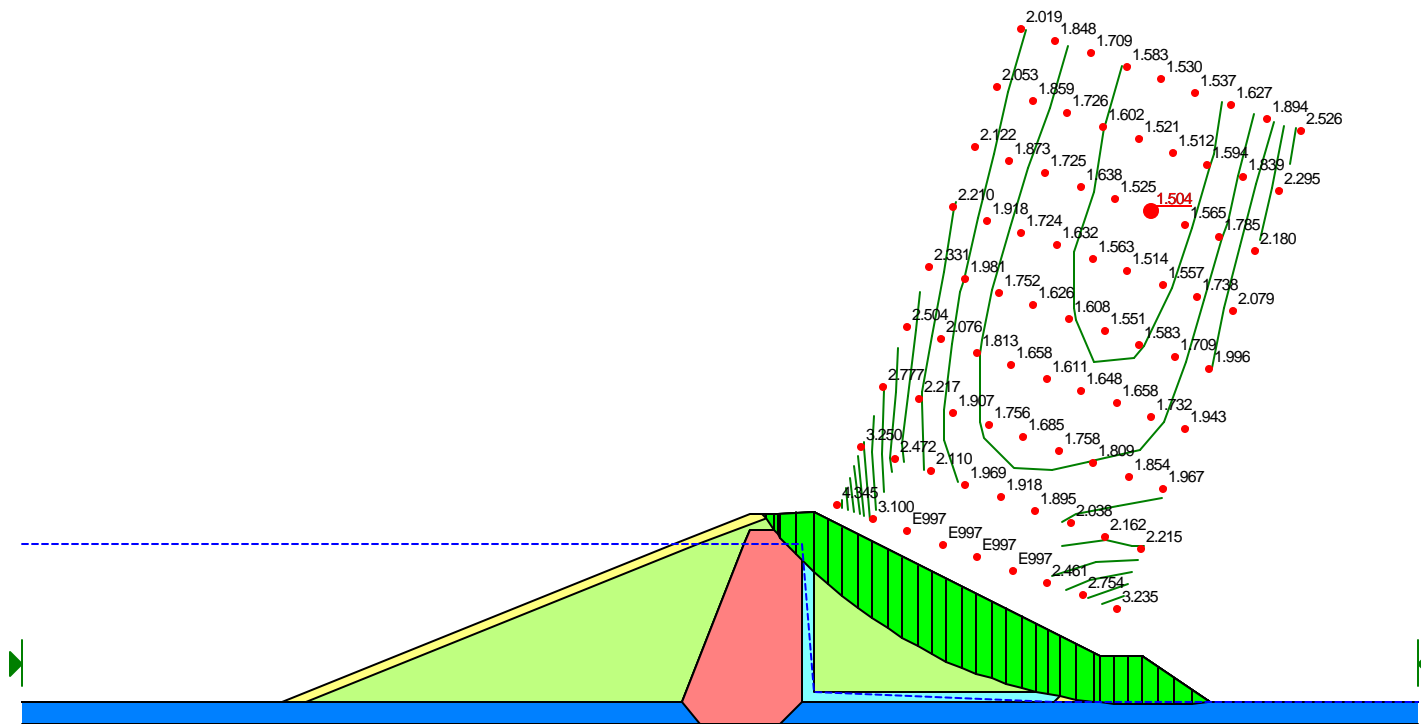
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE JUSANTE - CAMDA PROFUNDA

Comments:  
File Name: Mrcj.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 20:13:29  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: (none)



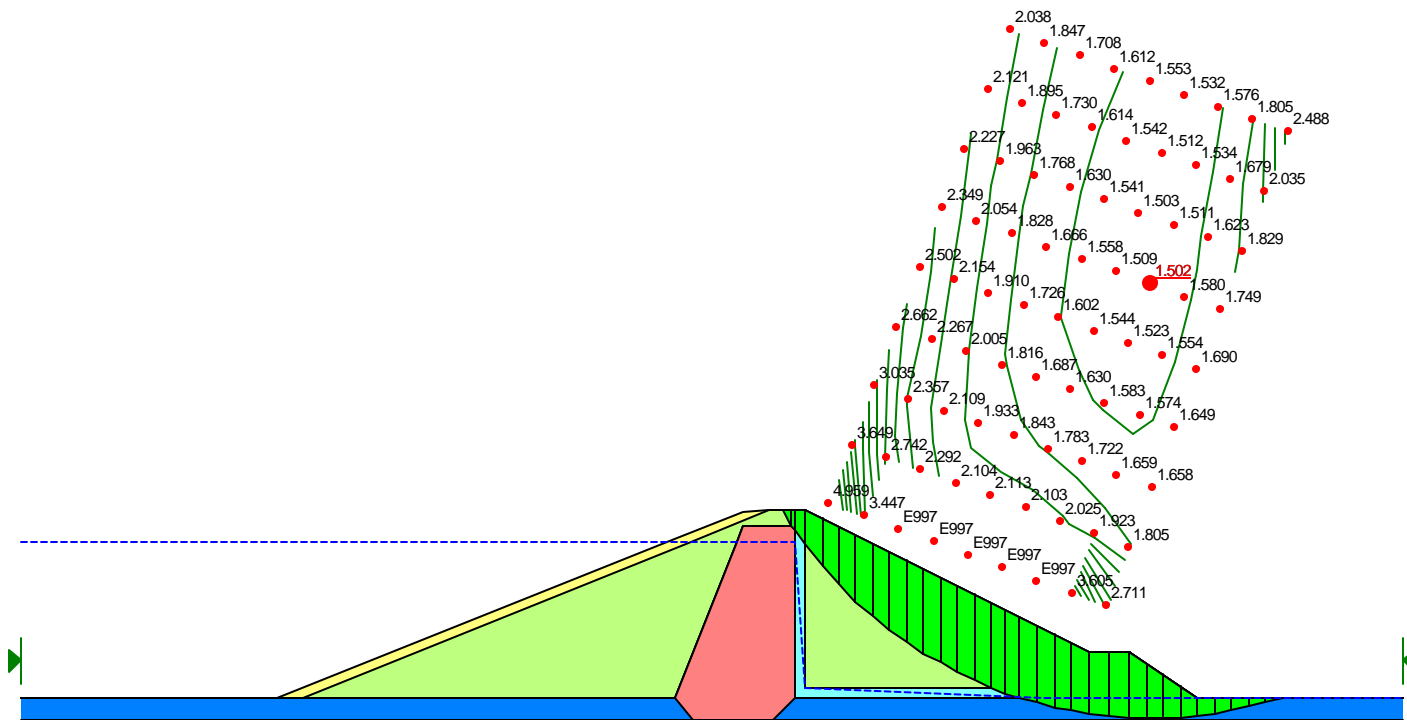
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Missi  
Comments:  
File Name: Mrcji.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 20:15:54  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: (none)



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Missi  
Comments:  
File Name: Mrcjp.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 20:19:17  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: (none)



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA PROFUNDA



Description: Barragem Missi

Comments:

File Name: Merms.slp

Last Saved Date: 01/08/02

Last Saved Time: 22:26:05

Analysis Method: Bishop

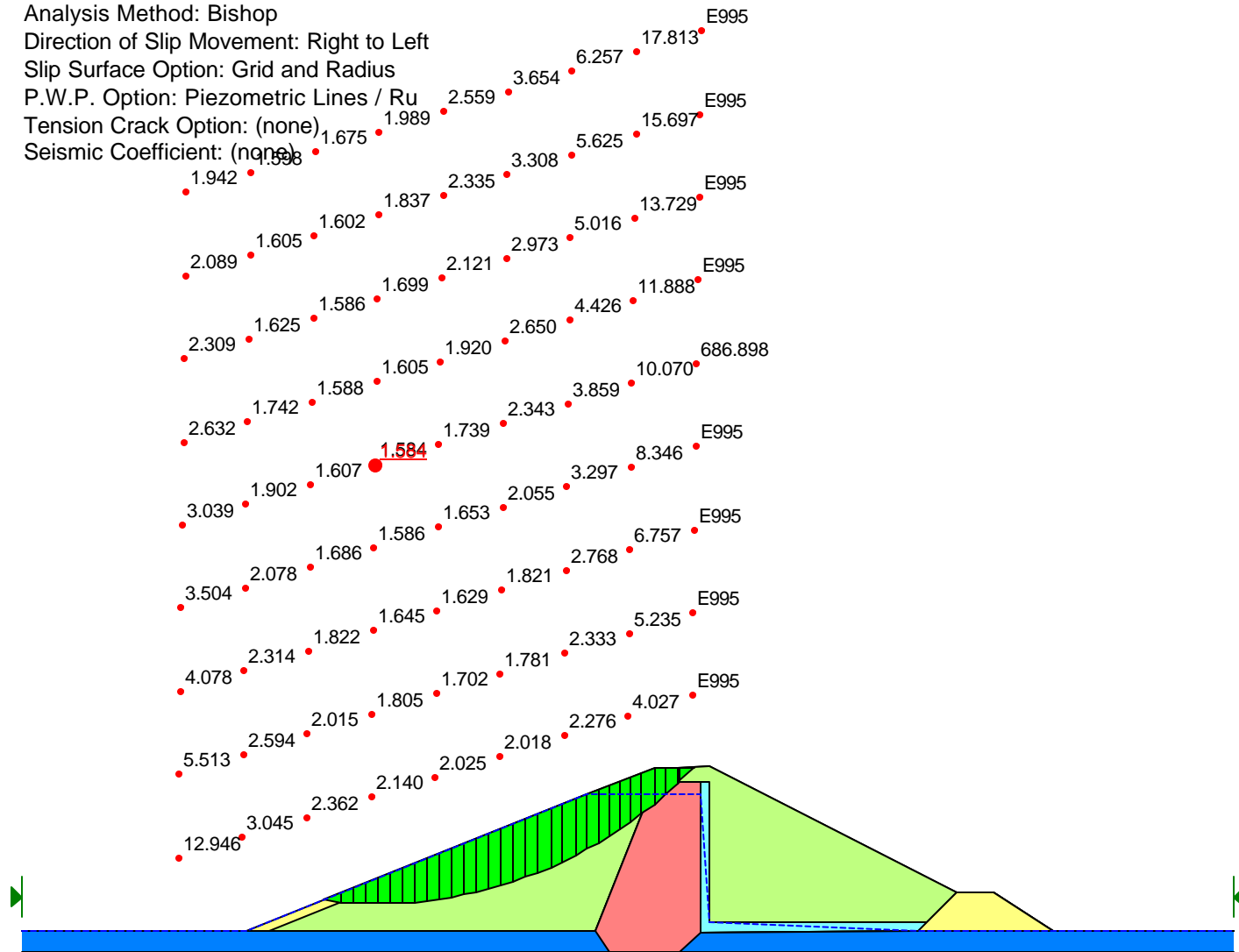
Direction of Slip Movement: Right to Left

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
ESVAZIAMENTO RÁPIDO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Missi

Comments:

File Name: Mermi.slp

Last Saved Date: 01/08/02

Last Saved Time: 22:17:21

Analysis Method: Bishop

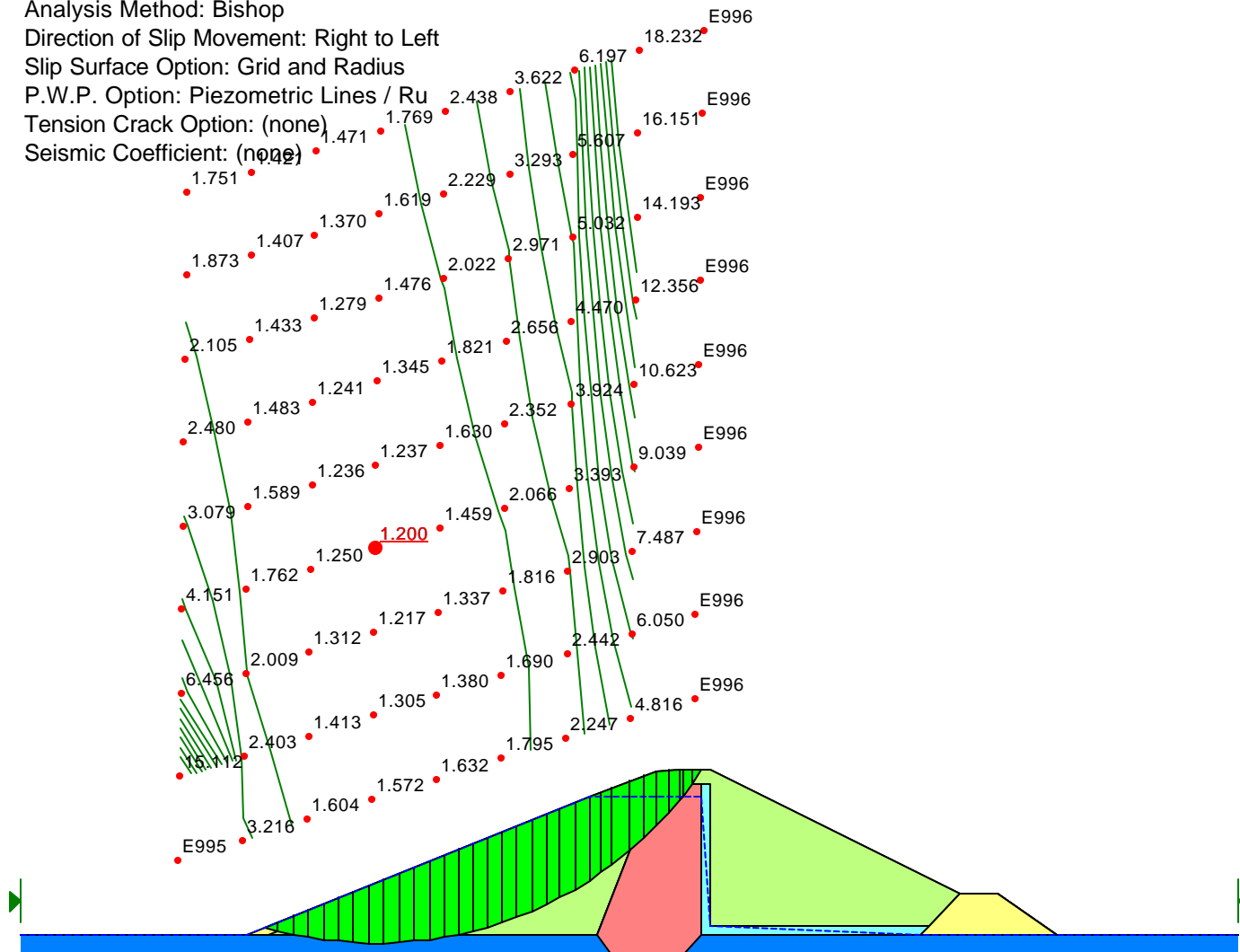
Direction of Slip Movement: Right to Left

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
ESVAZIAMENTO RÁPIDO - TALUDE DE MONTANTE - CAMDA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Missi

Comments:

File Name: Mermp.slp

Last Saved Date: 01/08/02

Last Saved Time: 22:33:57

Analysis Method: Bishop

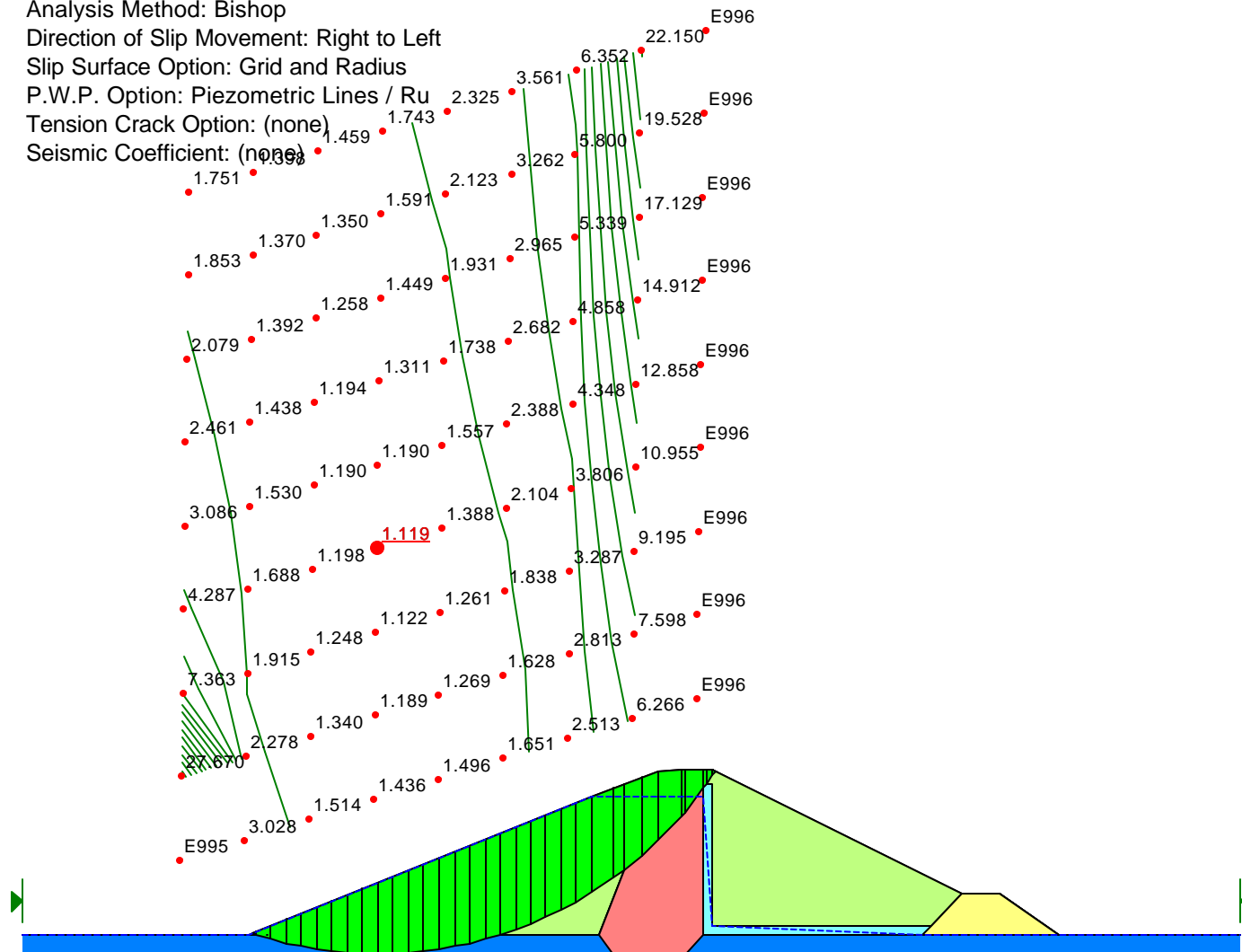
Direction of Slip Movement: Right to Left

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

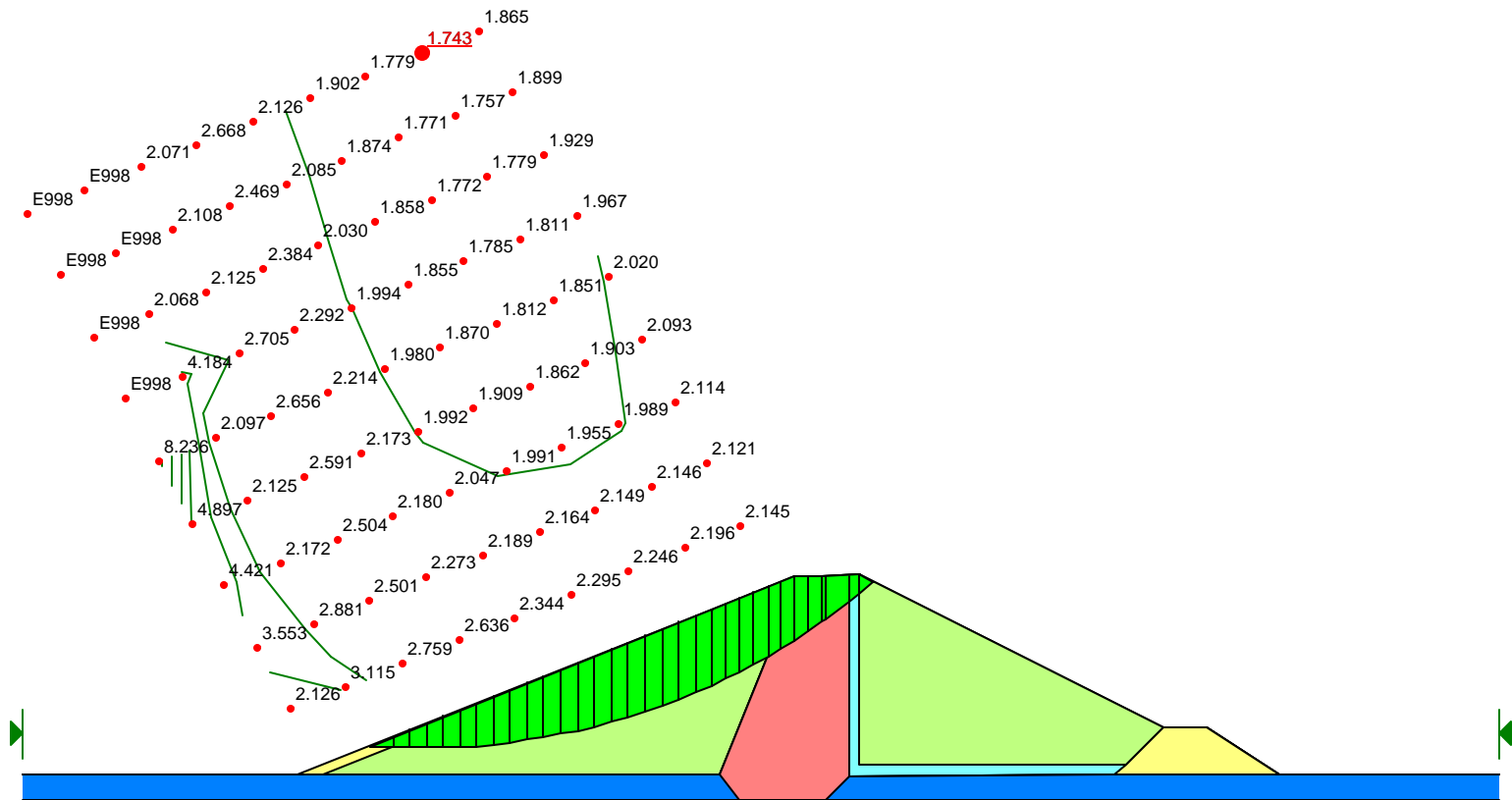
Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: (none)



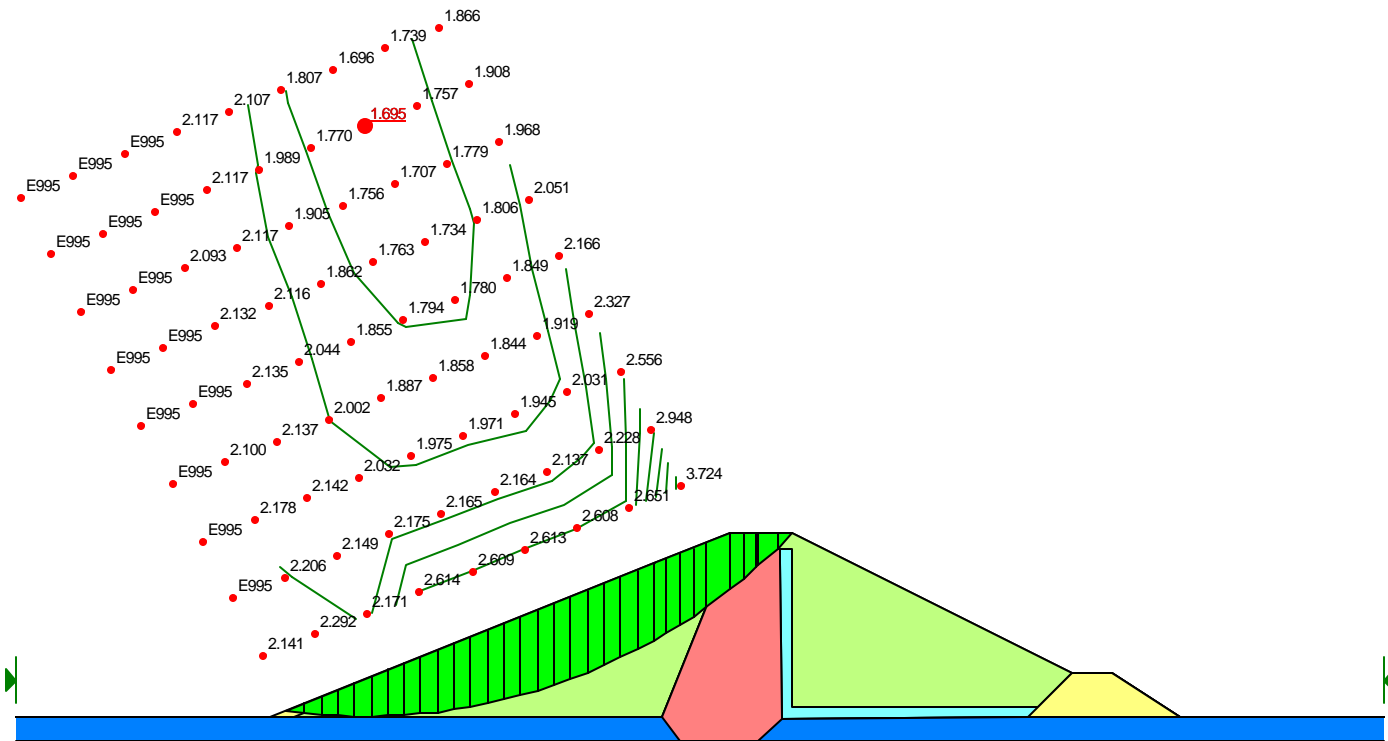
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
ESVAZIAMENTO RÁPIDO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA PROFUNDA

Comments.  
File Name: Mfcsms.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 20:10:23  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Right to Left  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



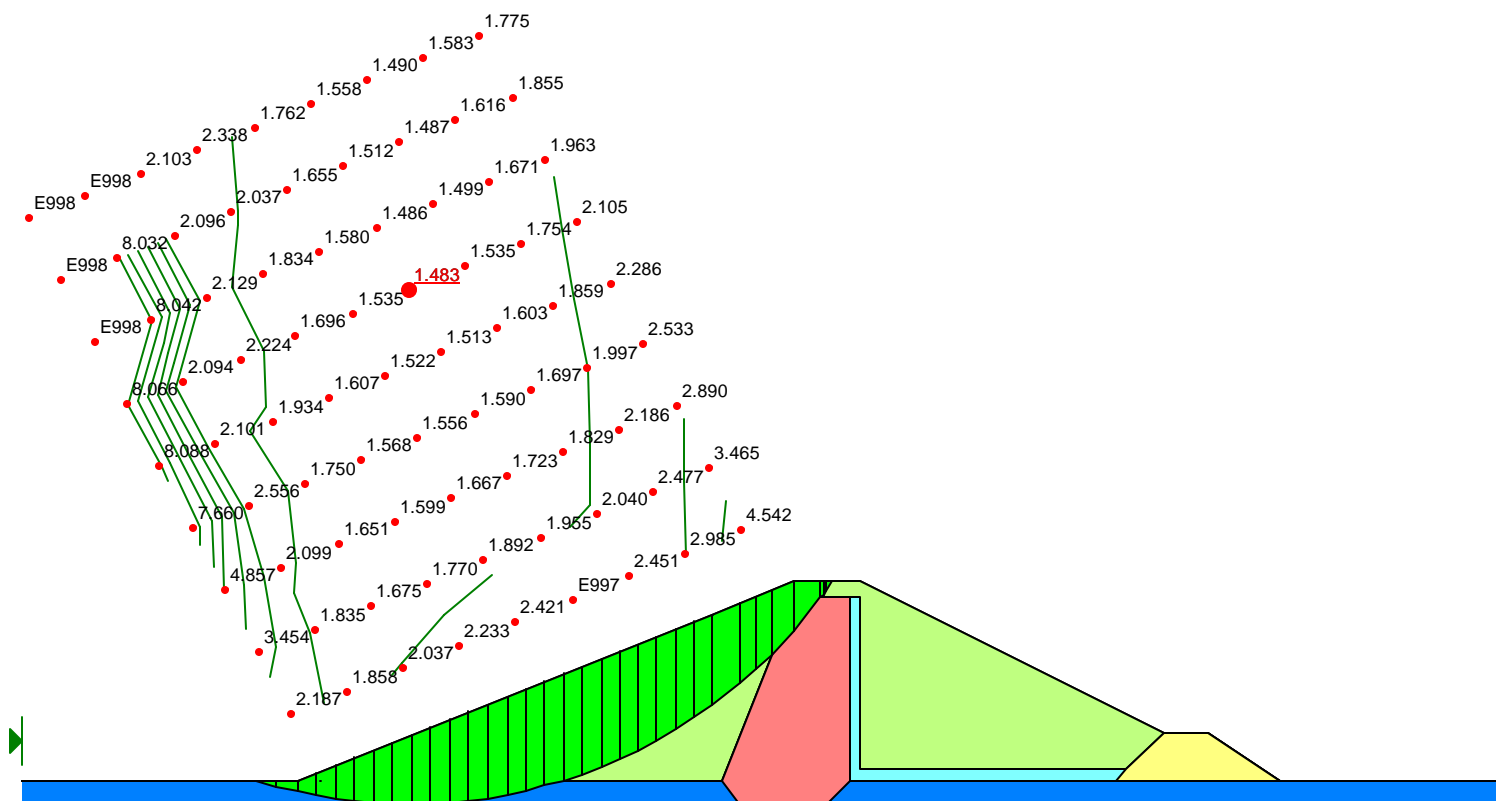
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Missi  
Comments:  
File Name: Mfcsmi.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 20:02:40  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Right to Left  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



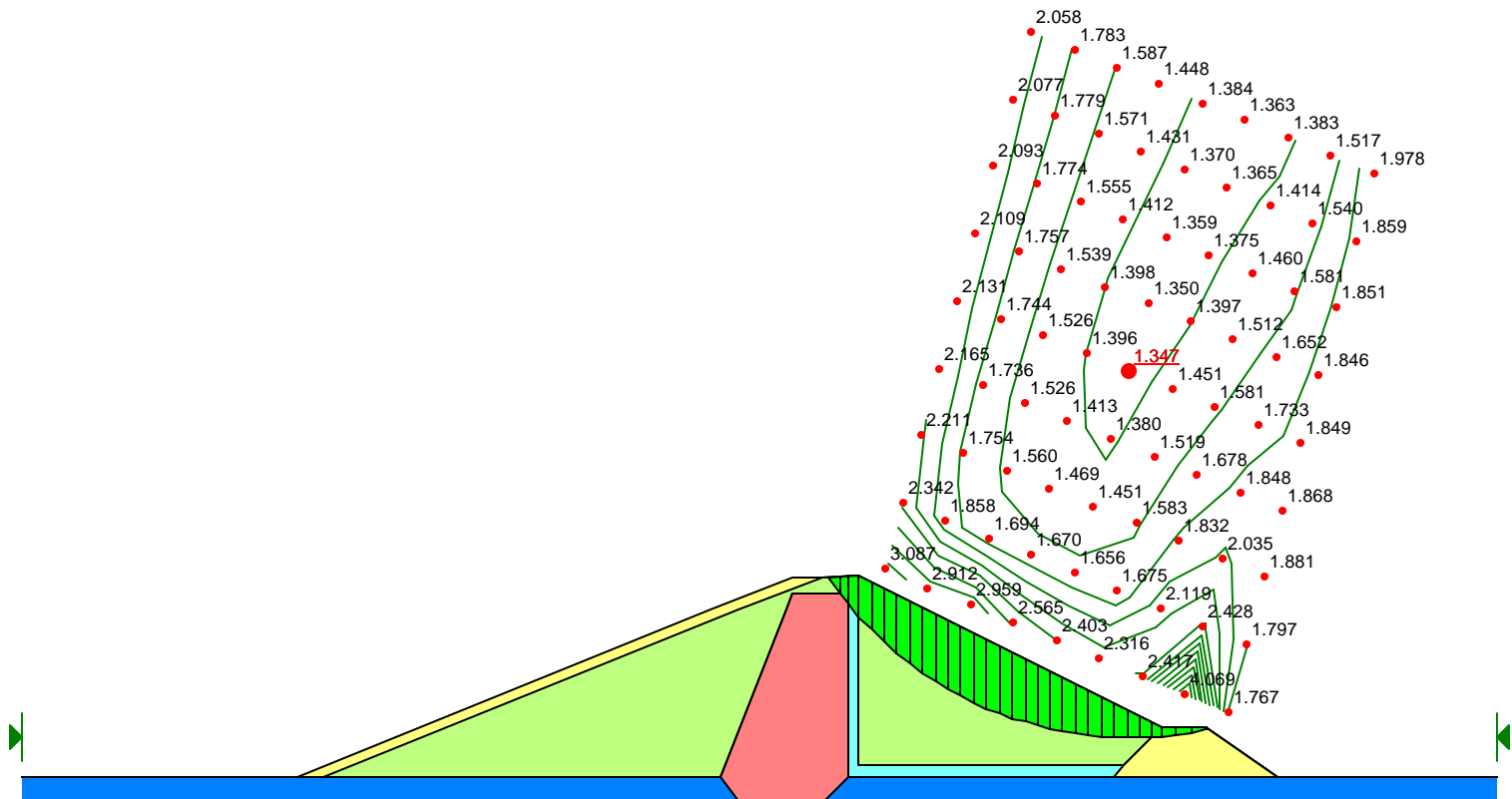
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Missi  
Comments:  
File Name: Mfcsmp.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 20:07:02  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Right to Left  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



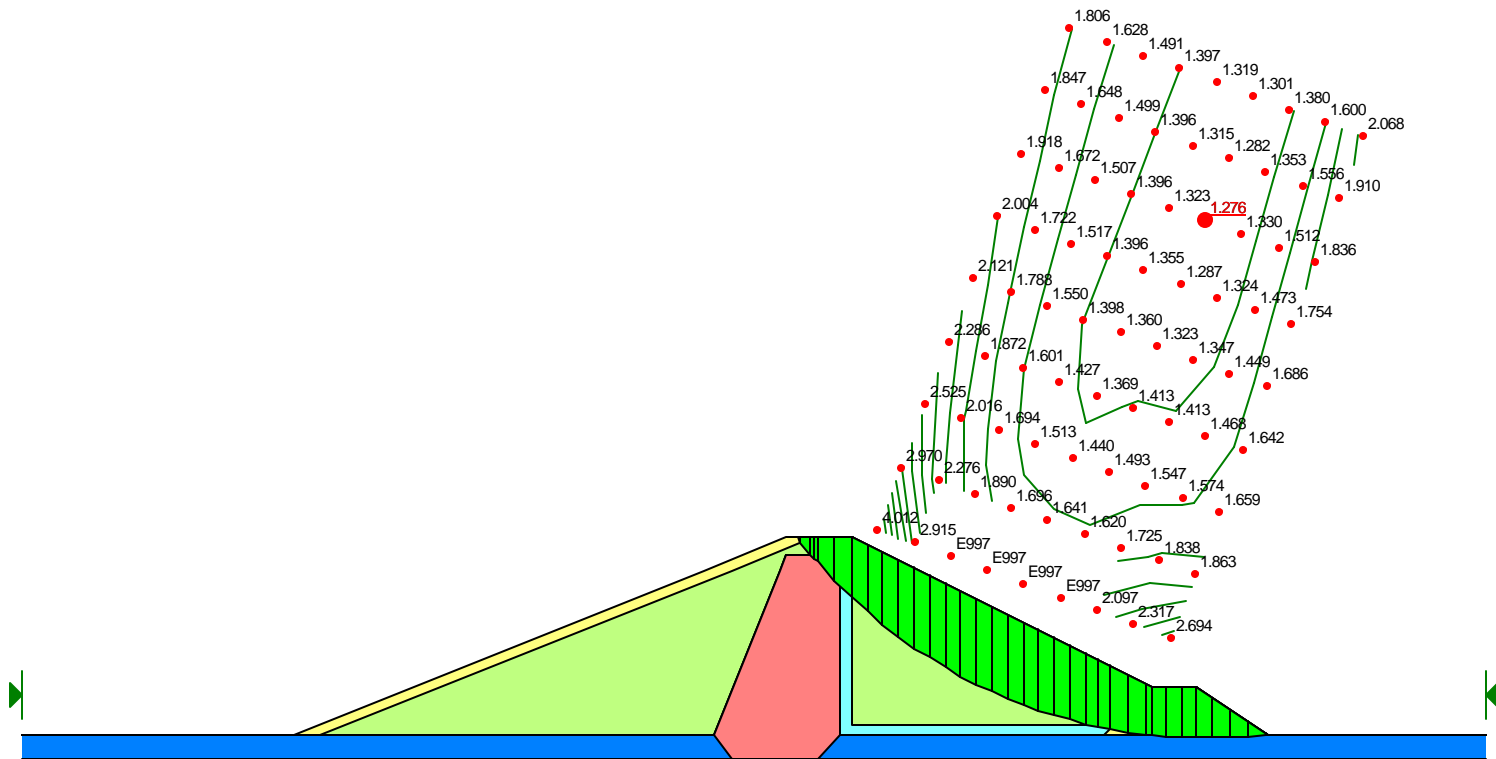
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA PROFUNDA

Comments:  
File Name: Mfcsjs.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 19:58:44  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA SUPERFICIAL

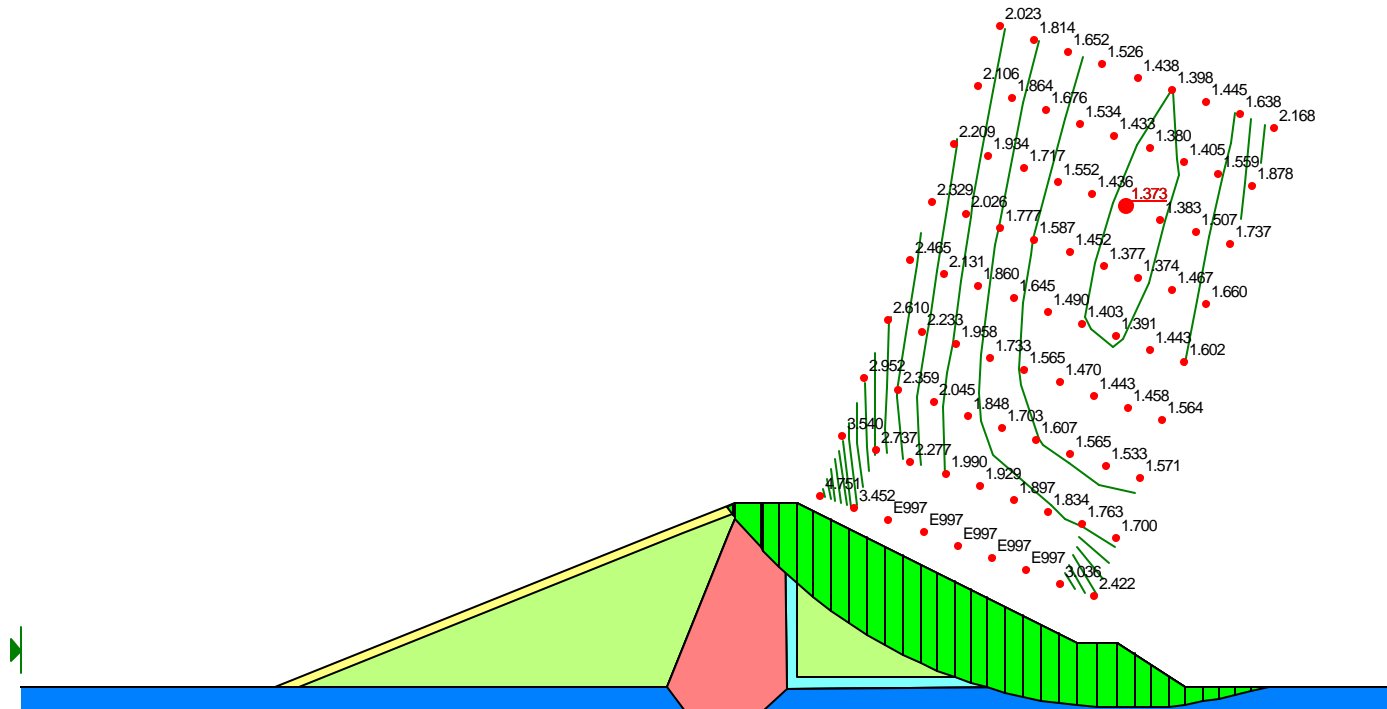
Comments:  
File Name: Mfcsji.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 18:23:35  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE JUSANTE - CAMDA INTERMEDIÁRIA

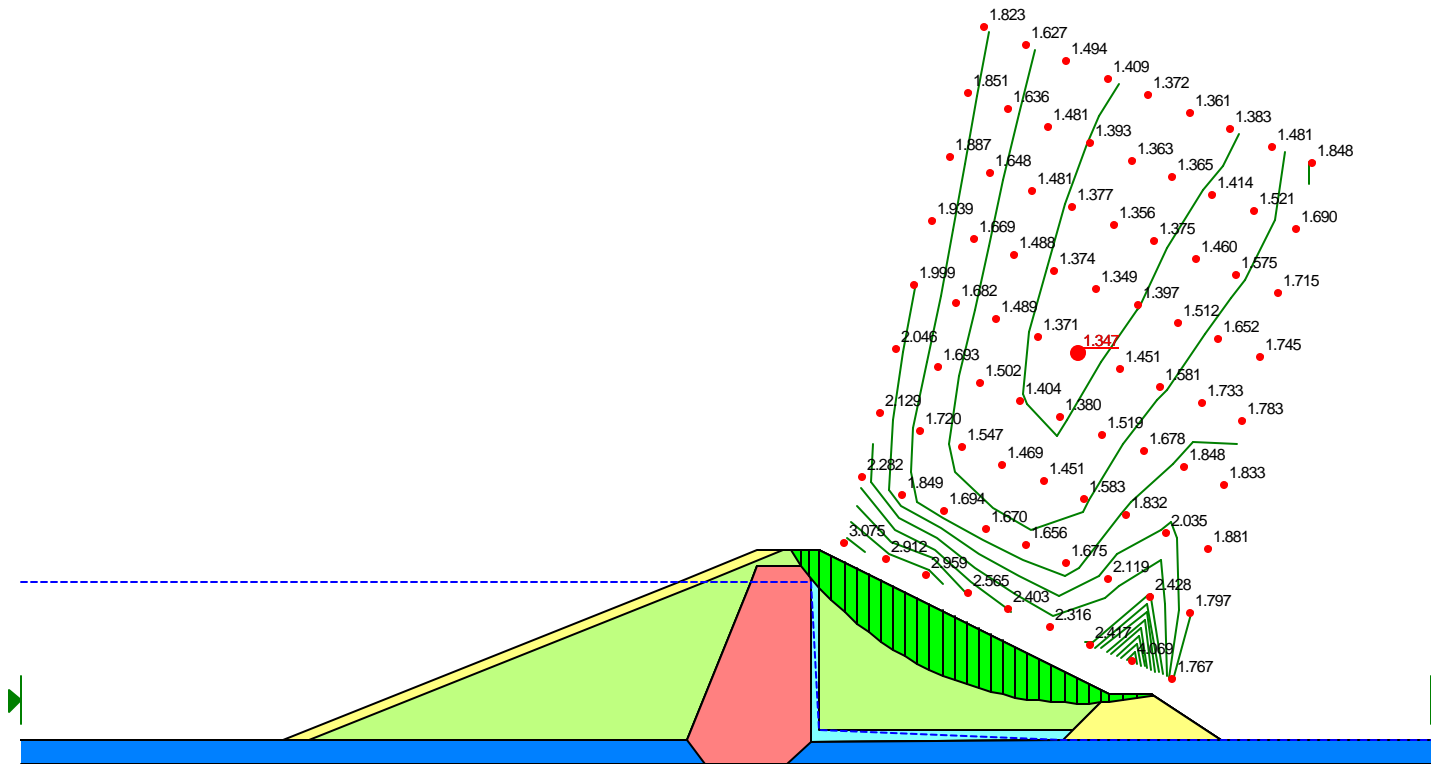


Description: Barragem Missi  
Comments:  
File Name: Mfcsjp.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 19:54:54  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



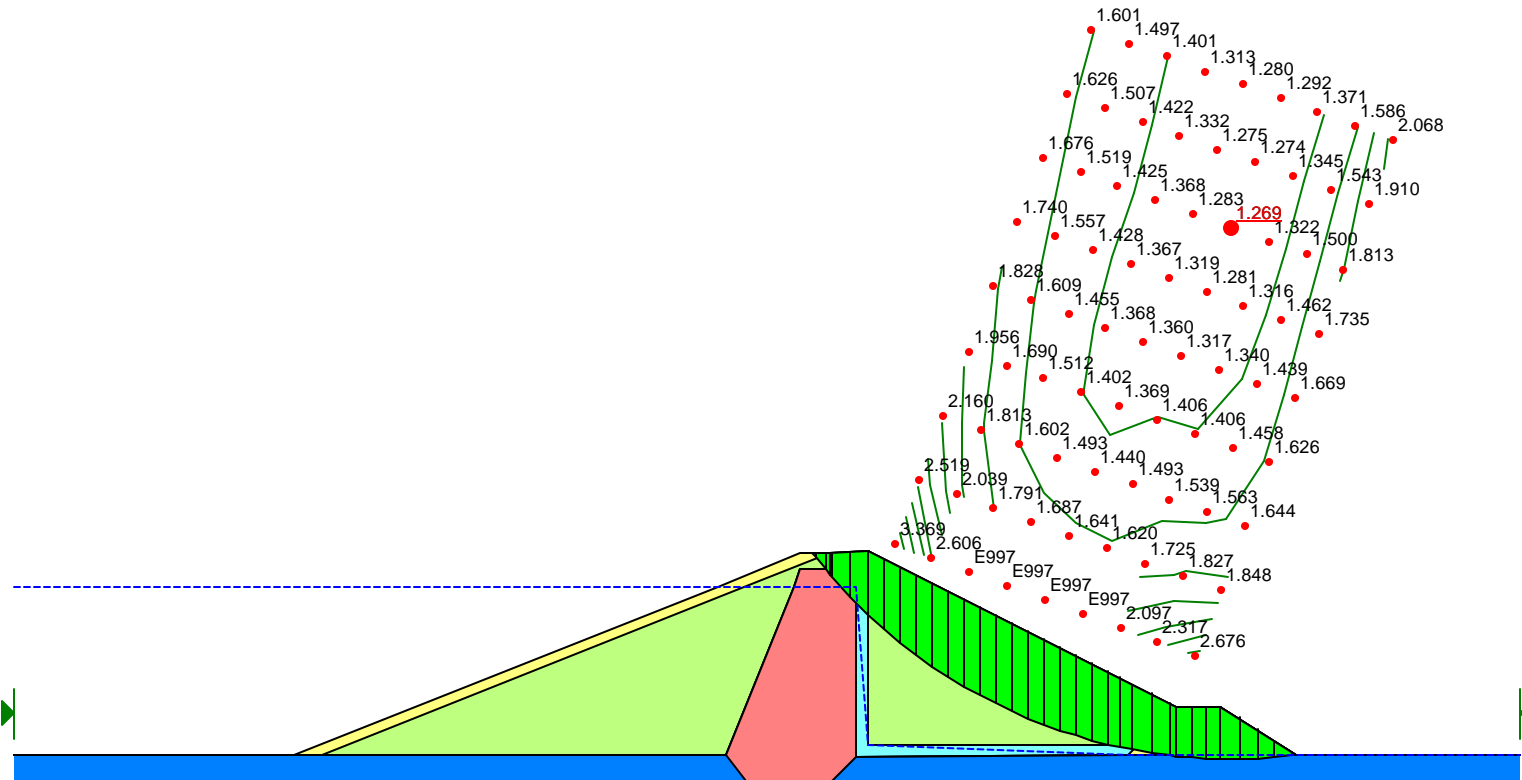
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
FINAL DE CONSTRUÇÃO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA PROFUNDA

Description: Barragem Missi  
Comments:  
File Name: Mracsjs.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 20:26:20  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



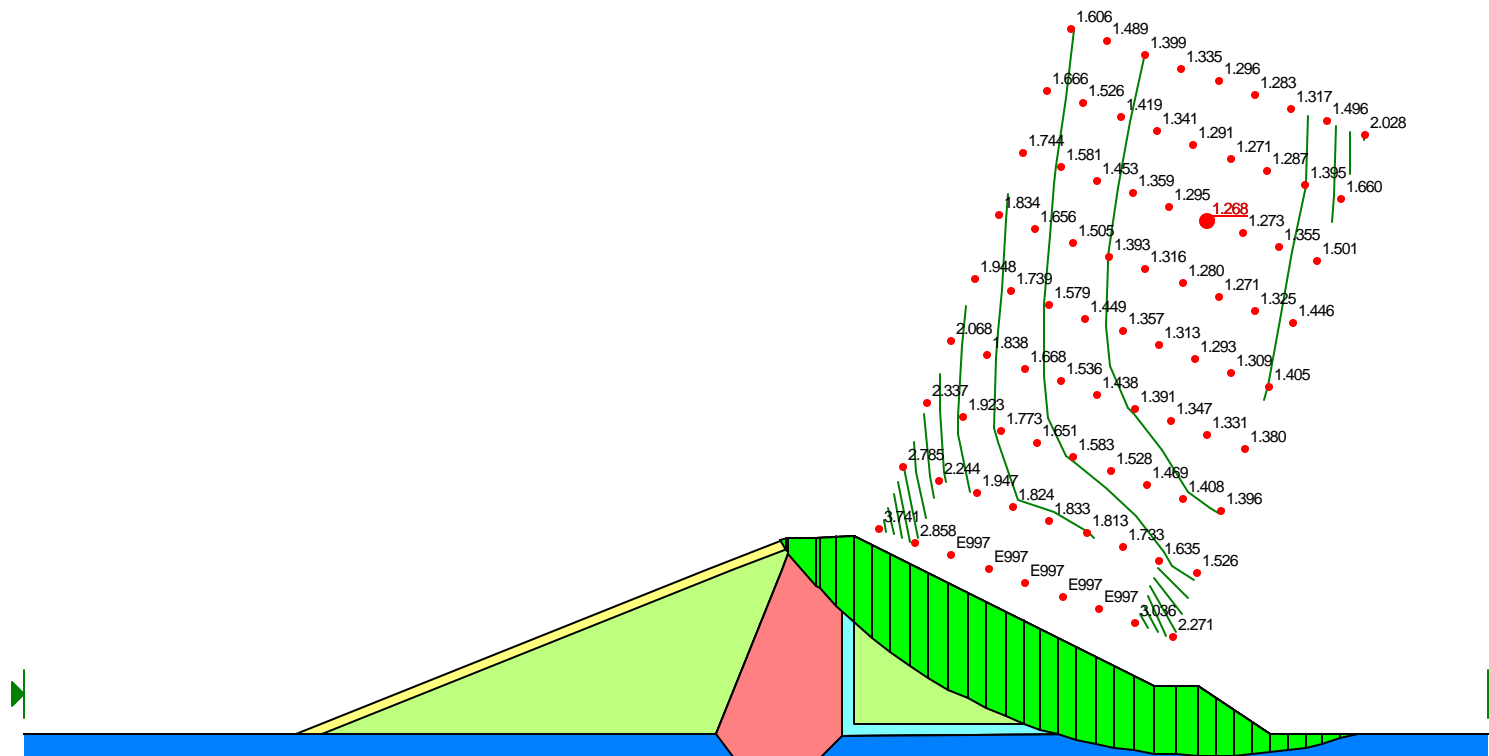
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA SUPERFICIAL

Comments.  
File Name: Mrcsji.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 20:21:57  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Missi  
Comments:  
File Name: Mrcsjp.slp  
Last Saved Date: 02/05/02  
Last Saved Time: 20:24:24  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA PROFUNDA

Description: Barragem Missi

Comments:

File Name: Mersms.slp

Last Saved Date: 01/08/02

Last Saved Time: 22:31:18

Analysis Method: Bishop

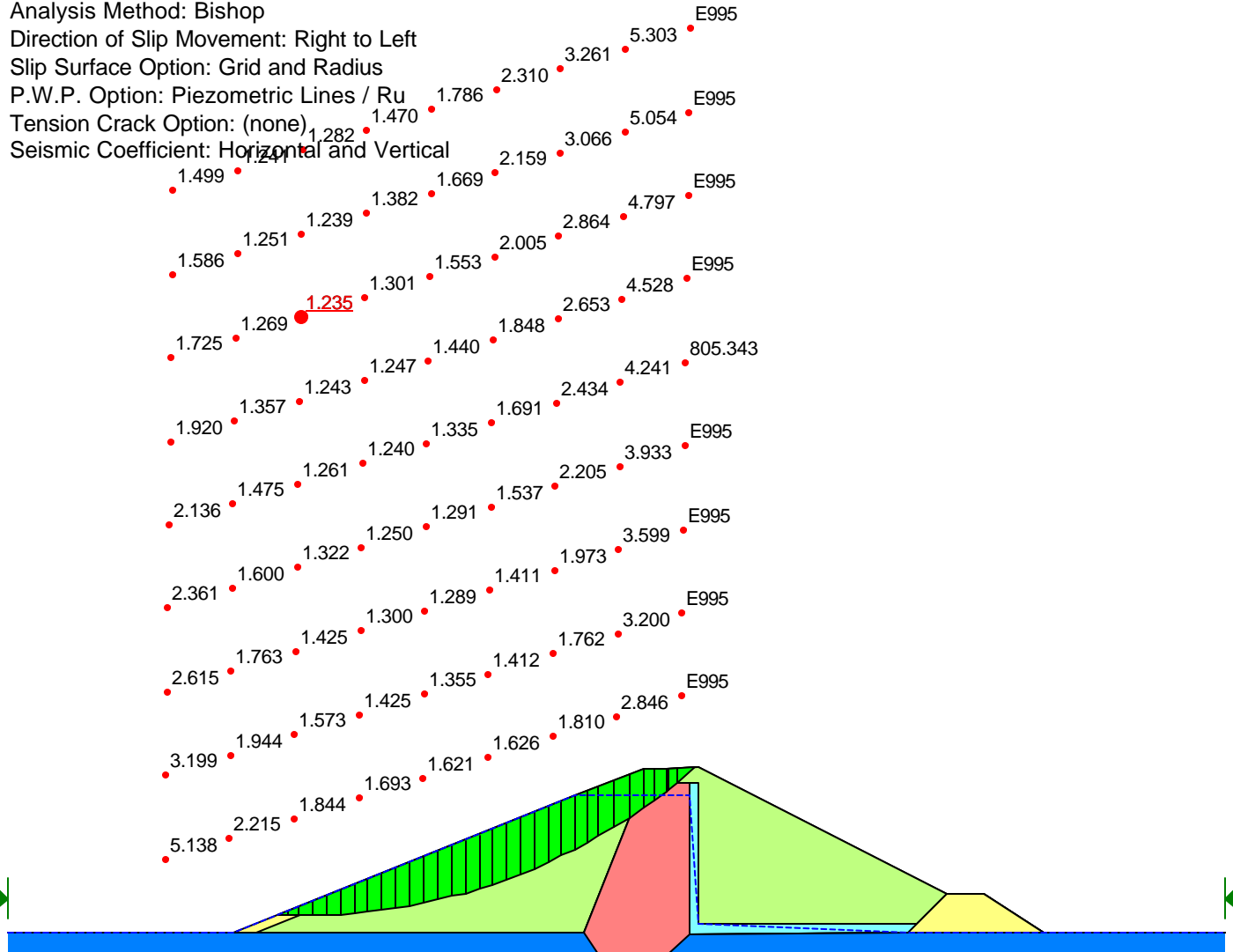
Direction of Slip Movement: Right to Left

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
ESVAZIAMENTO RÁPIDO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Missi

Comments:

File Name: Mersmi.slp

Last Saved Date: 01/08/02

Last Saved Time: 22:21:30

Analysis Method: Bishop

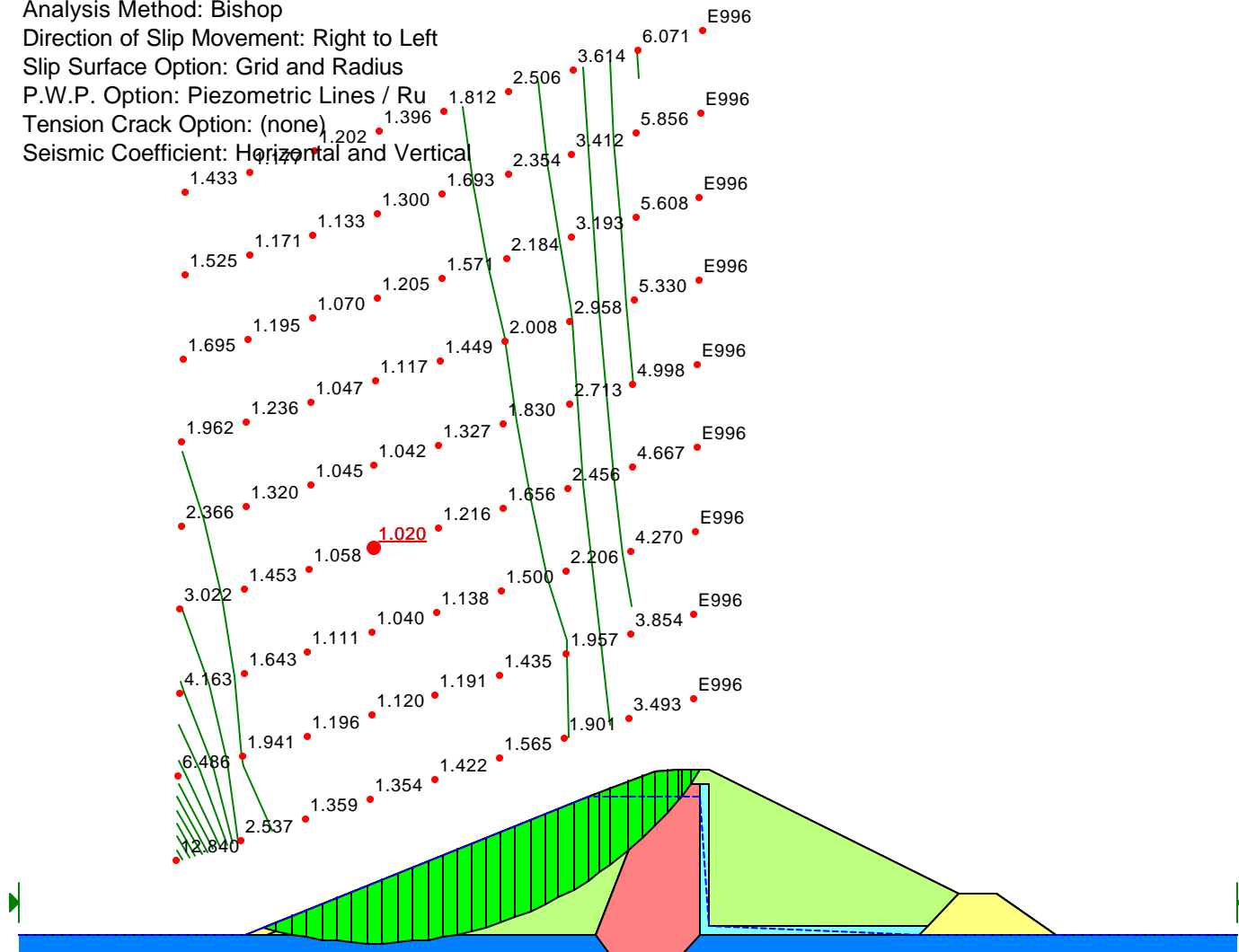
Direction of Slip Movement: Right to Left

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
ESVAZIAMENTO RÁPIDO - TALUDE DE MONTANTE - CAMDA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Missi

Comments:

File Name: Mersmp.slp

Last Saved Date: 01/08/02

Last Saved Time: 22:37:17

Analysis Method: Bishop

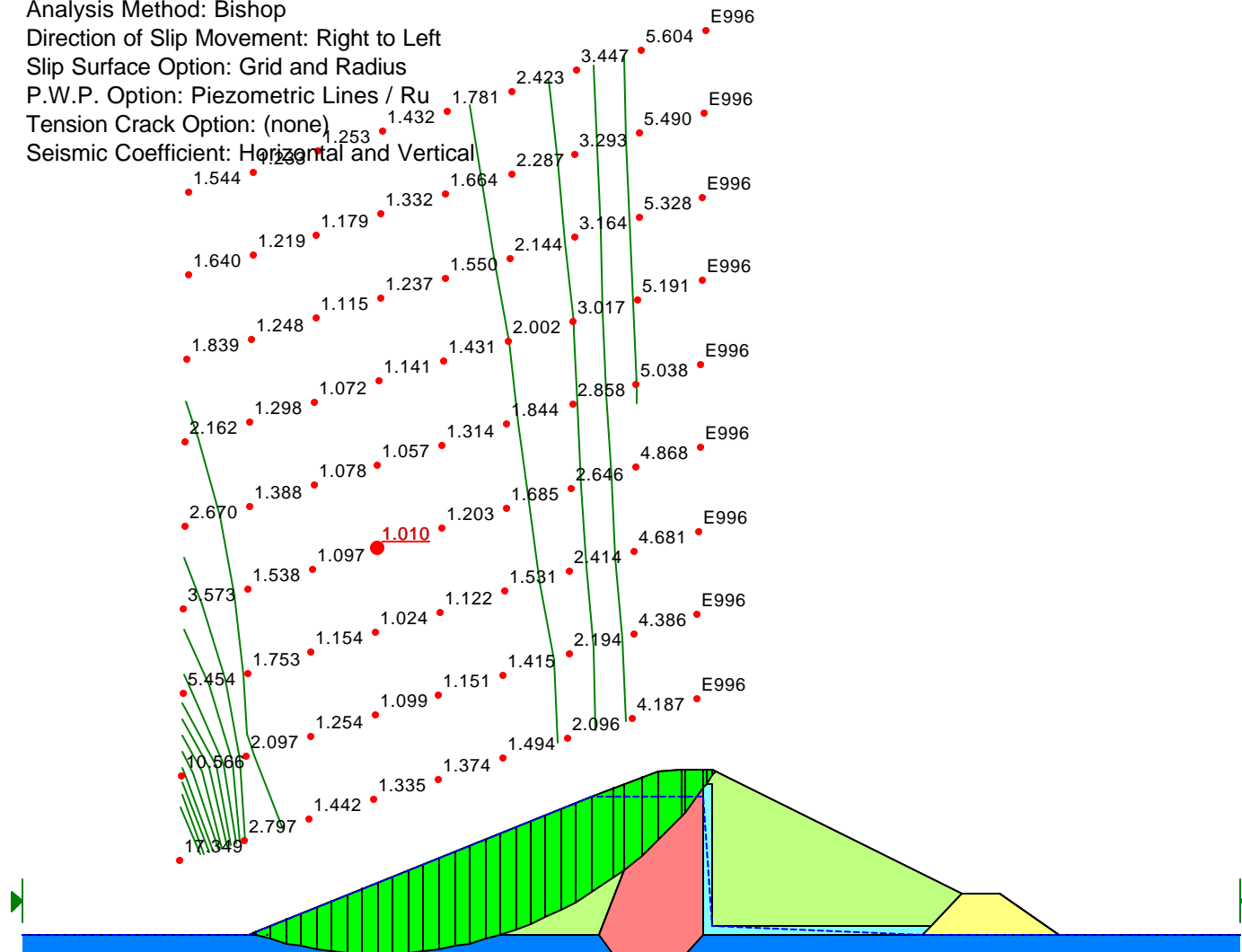
Direction of Slip Movement: Right to Left

Slip Surface Option: Grid and Radius

P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru

Tension Crack Option: (none)

Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
ESVAZIAMENTO RÁPIDO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA PROFUNDA



MONTGOMERY WATSON



## **12.0. DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO**

---





## 12.0. DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

### 12.1. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

#### 12.1.1. Muro Vertedouro

O muro vertedouro é um perfil “Creager” com crista na cota 54,70m e fundado na cota 46,00m com 150,0m de extensão. O muro será encravado na rocha a partir da cota 46,40m, nível de escavação da bacia de dissipação.

O muro terá pois 8,30m de altura. O talude de Montante será vertical e o perfil de Jusante foi determinado conforme o procedimento recomendado pelo “ Bureau of Reclamation”.

Dos estudos hidrológicos foi obtida a vazão de Projeto de  $Q = 583,8m^3 / s$  que é a vazão com tempo de recorrência de 1000anos.

Tem-se:

$$Q = C \times L \times H_e^{3/2}$$

Onde:

$$Q = \text{Vazão, em } m^3 / s$$

$$C = \text{coeficiente de Descarga, em } m^{1/2} / s$$

$$H_e = \text{Carga energética teórica, incluindo a carga cinética, em m.}$$

A equação do “Creager” a Jusante deste é dada por:

$$\frac{Y}{H_0} = -K \cdot \left( \frac{X}{H_0} \right)^n$$

onde:

$K, n$  = São constantes cujos valores dependem da inclinação do talude de Montante e da velocidade de aproximação.



$X, Y$  = Par de coordenadas do perfil, cujos eixos tem origem na crista e são orientados para cima e para o sentido montante jusante.

$H_0$  = Carga de projeto incluindo a carga cinética.

O canal de aproximação em montante será escavado na cota 52,00m de forma que  $P = 2,70m$ . Ver definição de  $P$  na figura 12.1.1. a seguir:

Trabalhando com a Vazão específica tem-se:

$$H_0 = h_0 + h_a$$

$$Q \longrightarrow q = \frac{Q}{150} = \frac{583,8}{150} = 3,89m^3 / s \times m$$

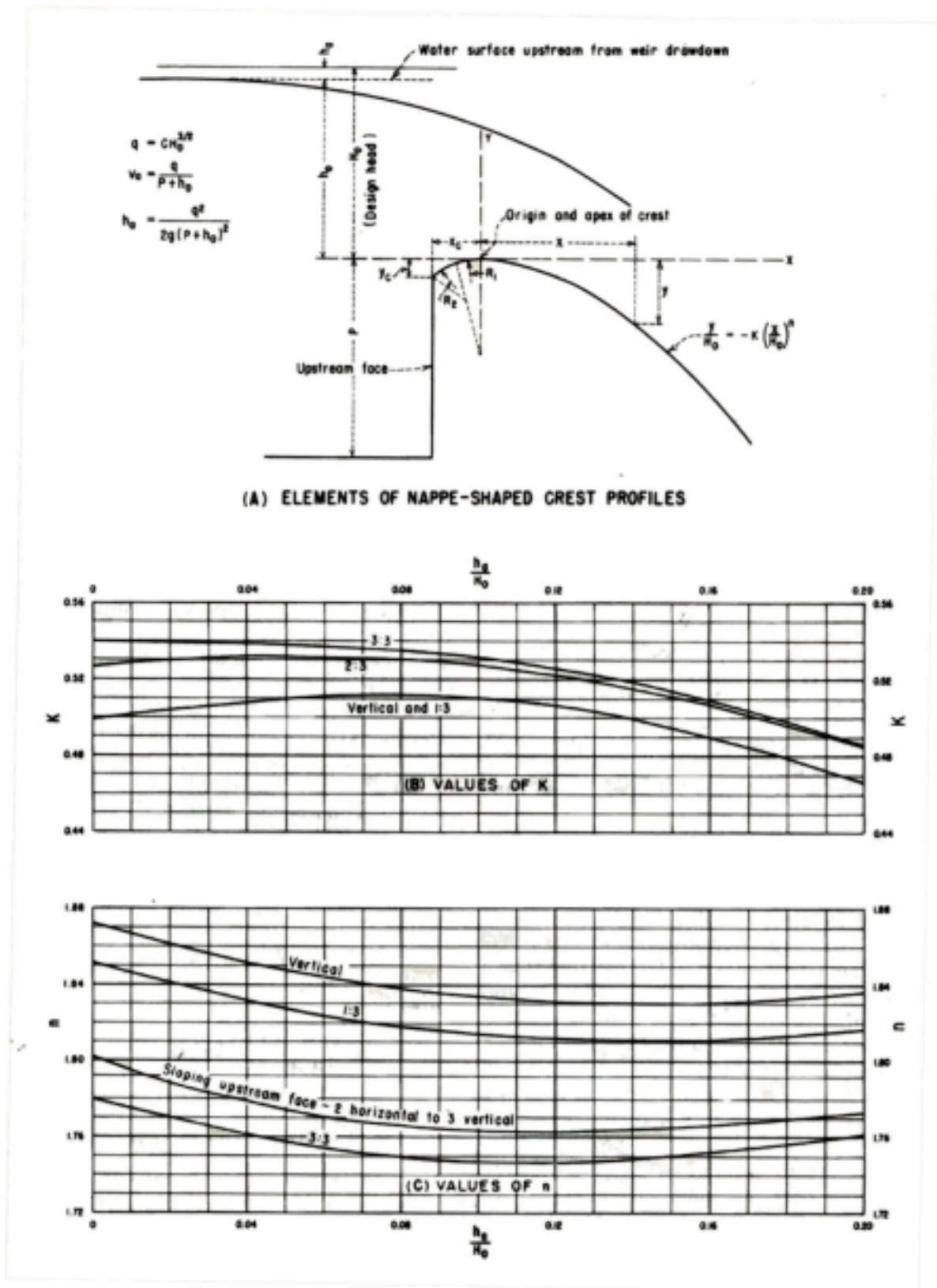


Figura 12.1.1.



$$q = C_0 \cdot h_0^{3/2}$$

Adotando  $h_0 = 1,51$  (Lâmina obtida dos estudos hidrológicos).

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

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

$$V_a = \frac{3,89}{2,70 + 1,51} = 0,92 \text{ m/s}$$

$$h_a = \frac{3,89}{2 \times 9,81 \times (2,70 + 1,51)} = 0,04 \text{ m}$$

$$H_0 = h_0 + h_a$$

$$H_0 = 1,51 + 0,04 = 1,55 \text{ m}$$

Da figura 12.1.1. tira-se  $K = 0,505$  e  $n = 1,86$ .

Da figura 12.1.2., entrando com  $\frac{h_a}{H_0} = 0,02$ , obtêm-se as curvas circulares da concordância de Montante.

$$\frac{X_c}{H_0} = 0,274 \longrightarrow X_c = 0,42.$$

$$\frac{Y_c}{H_0} = 0,117 \longrightarrow Y_c = 0,18.$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,52 \longrightarrow R_1 = 0,80.$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,22 \longrightarrow R_2 = 0,34.$$

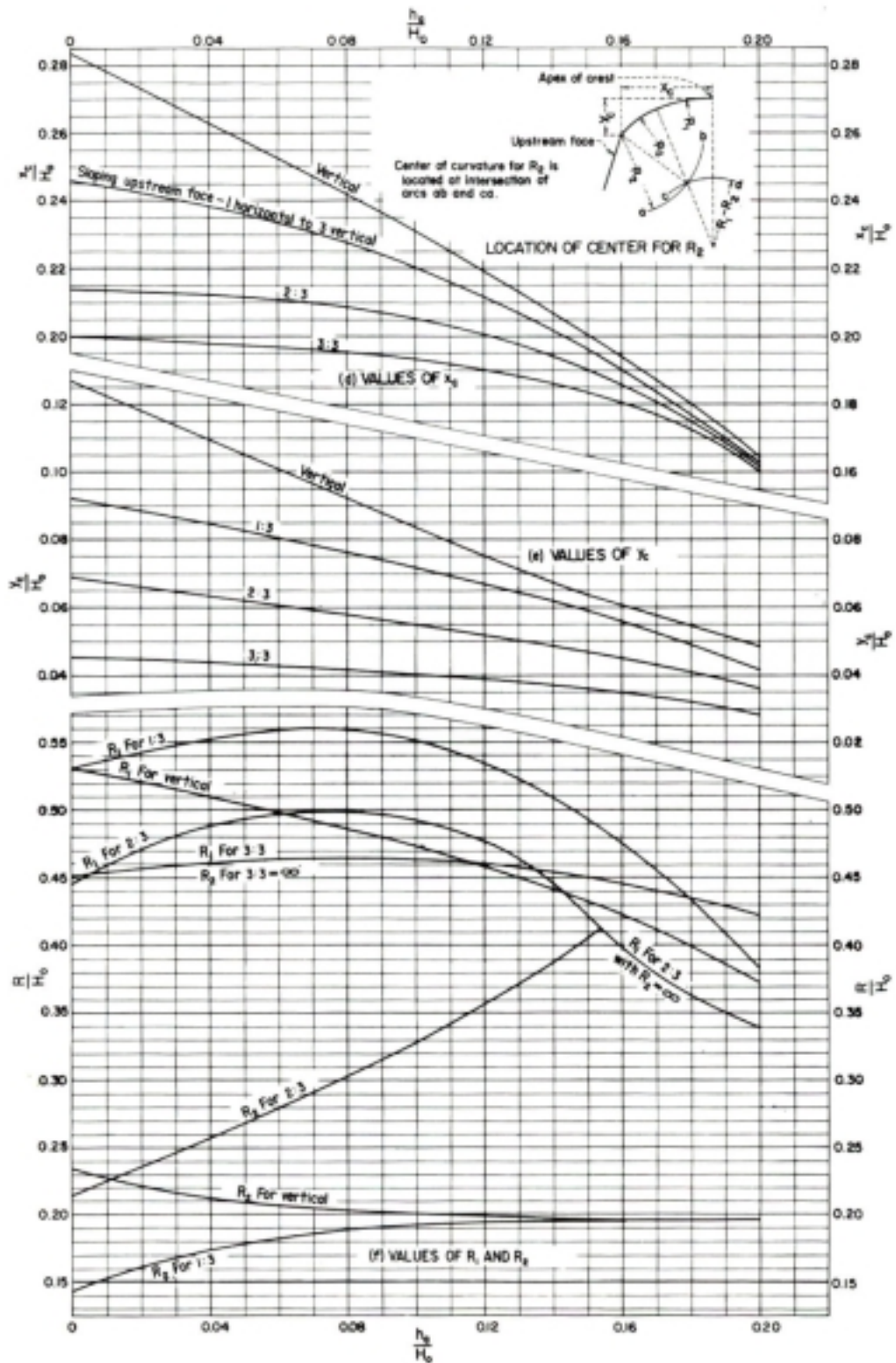


Figura 12.1.2.



Da equação do perfil tem-se:

$$\frac{Y}{1,55} = -0,505 \times \left( \frac{X}{1,55} \right)^{1,86}$$

$$Y = -0,346 \cdot X^{1,86}$$

Derivando essa equação obtém-se:

$$\frac{d_Y}{d_X} = -0,643 \cdot X^{0,86}$$

Fazendo:

$$\frac{d_Y}{d_X} = -1,25$$

Tem-se:

$$-1,25 = -0,643X^{0,86}$$

$$x = 2,178 \text{ e } Y = -1,47$$

O perfil “Creager” se estenderá até essas coordenadas. A partir desse ponto, ele transforma-se em uma reta tangente e no pé de Jusante entra numa curva circular.

As coordenadas do Perfil Creager são mostras no quadro abaixo:

#### COORDENADAS DO CREAGER

X	Y
0,00	0,00
0,20	-0,01
0,40	-0,06
0,60	-0,13
0,80	-0,22
1,00	-0,34
1,20	-0,48
1,40	-0,64
1,60	-0,82
1,80	-1,03
2,0	-1,25
2,17	-1,47



O coeficiente de vazão do Vertedouro  $C_0$  é obtido da figura 12.1.3., mostrada a seguir, a partir da relação  $\frac{P}{H_0}$ .

Para  $\frac{P}{H_0} = 1,74$ ,  $m$  obtém-se:

$$C_0 = 3,93\text{ft}^{1/2} / \text{s} = 2,17\text{m}^{1/2} / \text{s}.$$

Logo:

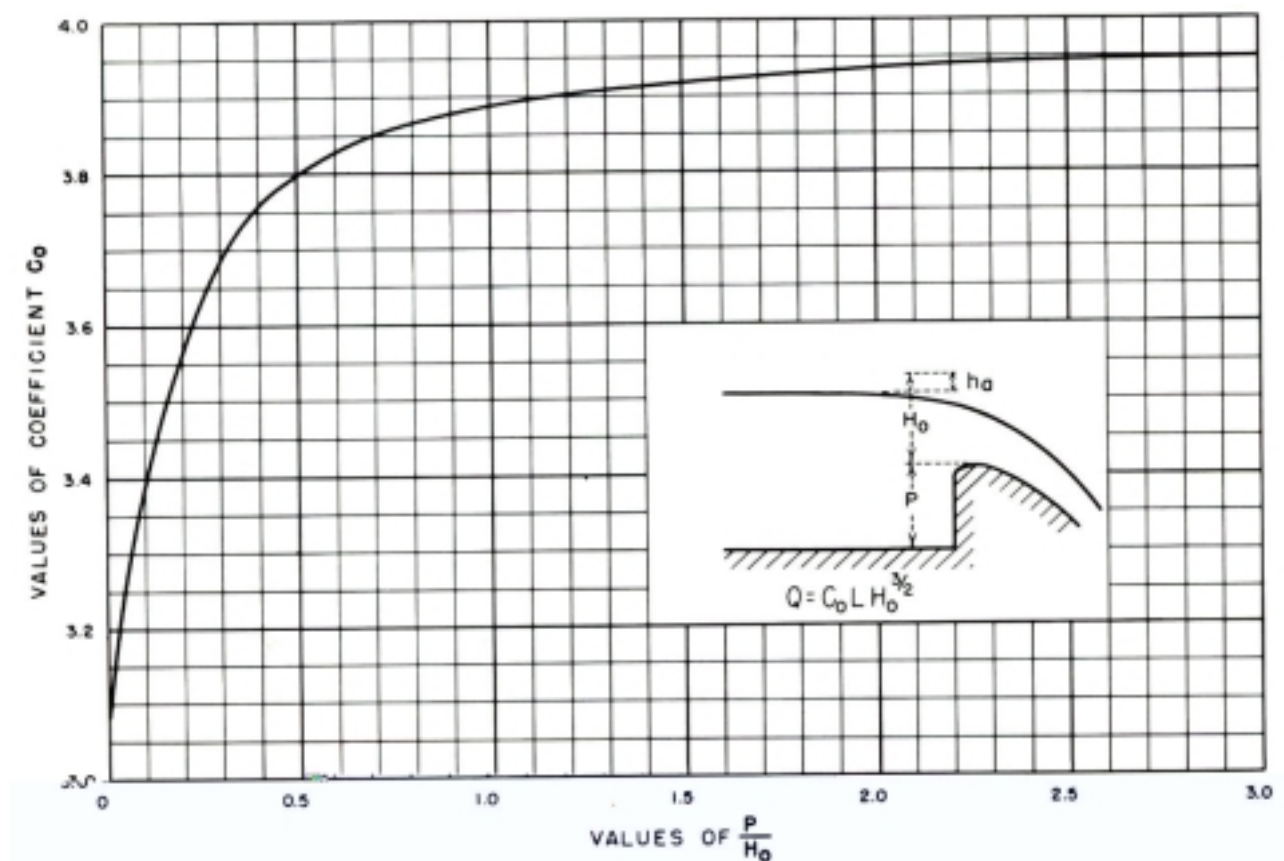
$$Q = C_0 \times L \times H_0^{3/2} (\text{m}^3 / \text{s}).$$

$$Q = 326,5 \times H_0^{3/2} (\text{m}^3 / \text{s}).$$

Para a vazão de projeto tem-se:

$$H_0 = 1,47\text{m}$$

A lâmina de 1,47m difere 5,4% da lâmina calculada nos estudos hidrológicos (1,51m). Tendo em vista que foi adotado um valor de  $C = 2,10\text{m}^{1/2} / \text{s}$ , enquanto o cálculo realizado neste item mostrou um valor de  $C = 2,18\text{m}^{1/2} / \text{s}$ . A diferença é praticamente insignificante.



**Figura 12.1.3.**

### 12.1.2. Dimensionamento da Bacia de Dissipação.

Devido à qualidade da rocha foi projetada uma bacia de dissipação. O fundo da bacia de dissipação será de concreto armado preso à rocha por chumbadores. A cota do topo do concreto será 46,70m e a laje de concreto terá 30cm de espessura.

A saída da bacia será em um canal de terra com declividade de 1:1000. Os taludes do Canal serão de 1:3 (V:H).

Para simplificação do dimensionamento hidráulico o canal foi considerado com seção retangular.

Para dimensionamento hidráulico da bacia foi feito um estudo comparativo entre as vazões 584m<sup>3</sup>/s, 400m<sup>3</sup>/s, 200m<sup>3</sup>/s, 100m<sup>3</sup>/s. Para determinar a cota mínima que deve ter o fundo da bacia.





A lâmina no canal de saída foi calculada aplicando a fórmula de Manning com coeficiente de rugosidade igual a 0,029. Para as vazões de ensaio obteve-se as seguintes lâminas, mostradas a seguir:

Q(m <sup>3</sup> /s)	Y(m)
584	2,17
400	1,77
200	1,17
100	0,78

Adotando a cota da saída da bacia igual a 49,70m o que requer a construção de um muro de 3,0m de altura e denominando o nível de Jusante de TW (Tailwater). O dimensionamento da bacia hidráulica está resumido nas duas tabelas mostradas a seguir:



TABELA - 01

Vazão Total em m <sup>3</sup> /s	584	400	200	100
Vazão Unitária em m <sup>3</sup> /s	3,89	2,66	1,33	0,66
Coeficiente de descarga	2,18	2,18	2,18	2,18
Carga $H_e = \left(\frac{q}{C}\right)^{2/3}$ em (m)	1,47	1,14	0,71	0,45
Cota no Reservatório (m)	56,17	55,84	55,41	54,25
Cota a Jusante TW	51,87	51,47	50,87	50,48
Cota do Reservatório menos TW	4,30	4,37	4,54	3,77
Carga de velocidade no nível TW desprezando perdas por atrito(m) $h_{vt}$	4,30	4,37	4,54	3,77
VELOCIDADE DO FLUXO NO NÍVEL TW				
$V_t = \sqrt{2gh_{vt}}$ (M/S)	9,18	9,25	9,43	8,60
Profundidade do Fluxo no nível TW $d_t = \frac{q}{V_t}$ em (m)	0,42	0,28	0,14	0,08
Número de Froude no nível do TW				
$F_t = \frac{V_t}{\sqrt{gdt}}$	4,52	5,58	8,04	9,70
Energia específica no nível de TW $d_t + h_{vt}$	4,72	4,65	4,68	3,85

A Tabela-2 mostrada a seguir foi elaborada com os dados da tabela 1 e mostra os dados para projeto da bacia de dissipação. As alturas conjugadas e as requeridas profundidades do fundo da bacia para as várias descargas são calculadas para determinar a condição crítica.



TABELA - 02

Vazão Total em m <sup>3</sup> /s	584	400	200	100
Vazão Unitária em m <sup>3</sup> /s	3,89	2,66	1,33	0,66
Nível do reservatório menos o nível TW	4,30	4,37	4,54	3,77
Altura conjugada $d_2$ em m tirado da figura mostrada a seguir.	2,89	2,37	2,13	1,09
Cota no Jusante TW	51,87	51,47	50,87	50,48
Cota requerida para o fundo da bacia	48,98	49,10	48,57	49,39
Energia Específica na extremidade de montante da bacia $H_e = d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$ em (m)	7,19	6,74	6,67	4,86
Profundidade do fluxo na entrada da bacia de dissipação $d_1$ em (m)	0,33	0,25	0,12	0,07
Velocidade na entrada da bacia de dissipação $V_1$ em $m/s$ , $V_1 = \frac{q}{d_1}$	11,78	10,64	11,08	9,42
Número de Froude na entrada da bacia $F_t = \frac{V_t}{\sqrt{gdt}}$	6,50	6,80	10,20	11,40

A cota mínima requerida para o fundo da bacia de dissipação é atingida na vazão de 200m<sup>3</sup>/s e esta cota é de 48,57m. Porém devido às características do material a escavação será feita até a cota 46,40m e o fundo da bacia de dissipação ficará na cota 46,70m, pois será colocado uma laje de concreto armado de 0,30m de espessura.

Pelo valor crítico do número de Froude 10,2m o comprimento do ressalto hidráulico será de 13,20m tirado da figura 12.1.5. mostrada a seguir. Adotou-se a bacia de dissipação com 14,0m de comprimento.



DESIGN OF SMALL DAMS

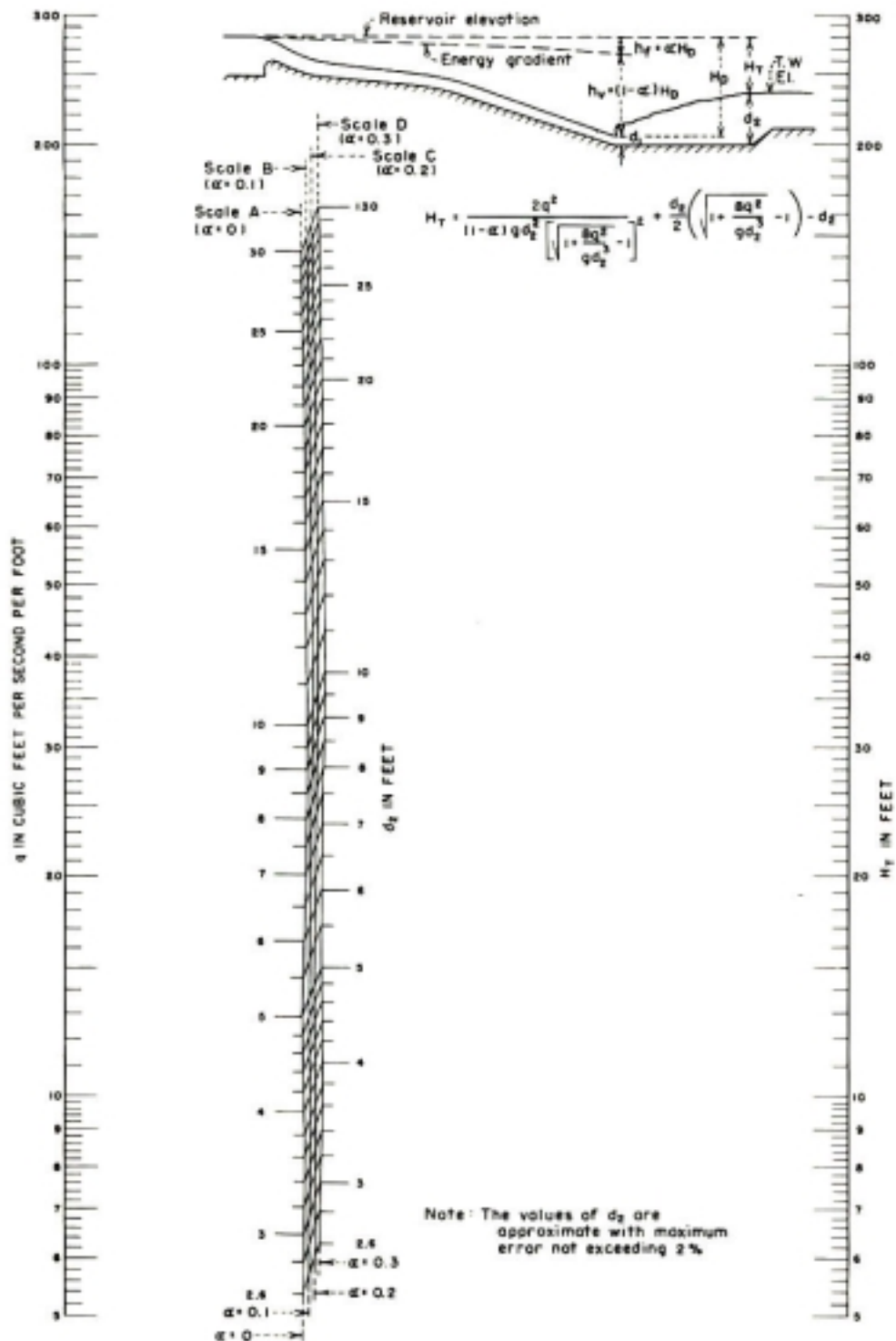


Figure 9-43.—Stilling basin depths versus hydraulic heads for various channel losses. 288-D-2428.

Figura 12.1.4.



HYDRAULIC COMPUTATIONS

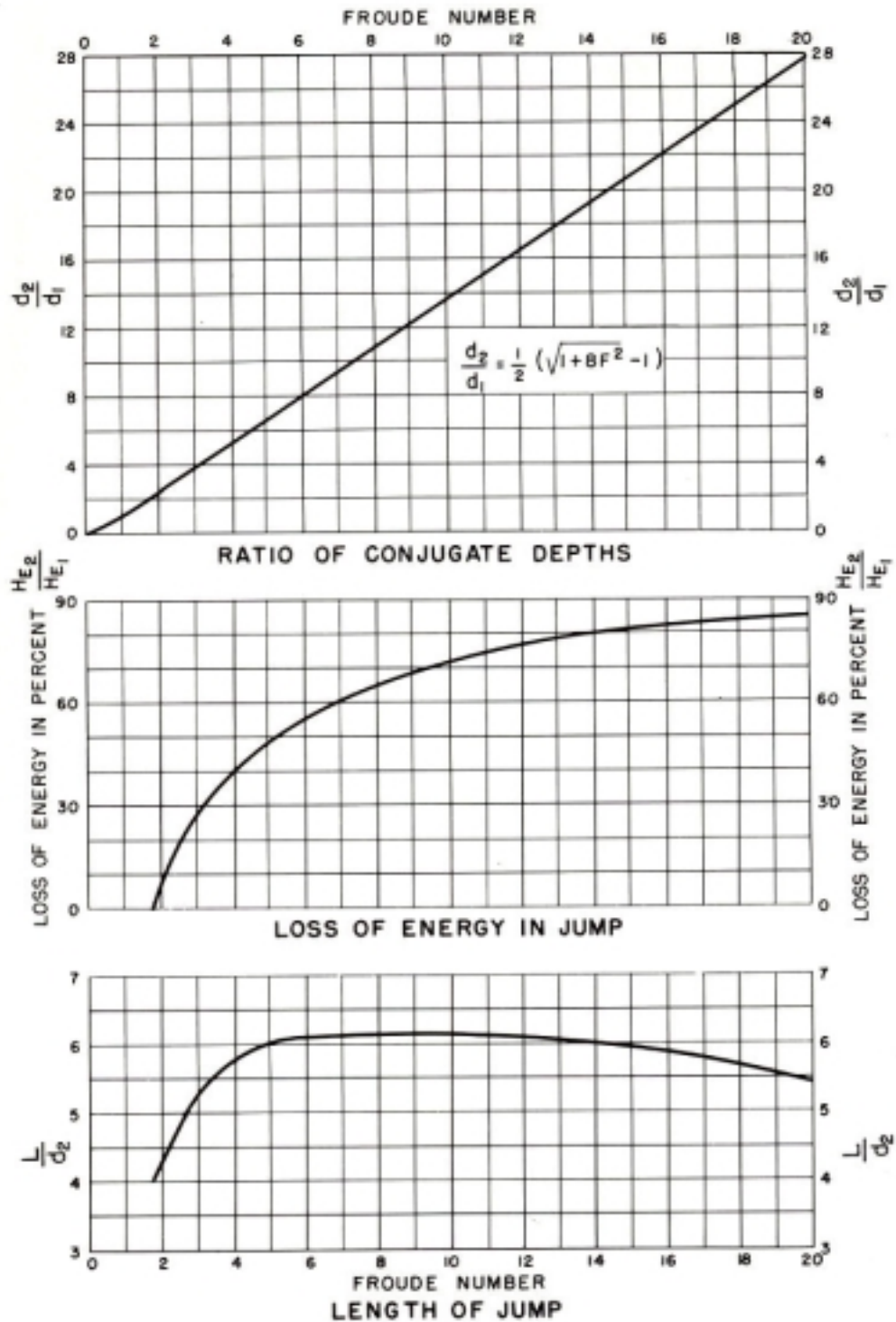


Figure B-14.—Hydraulic jump properties in relation to Froude number. 288-D-2558.

Figura 12.1.5.



## 12.2. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

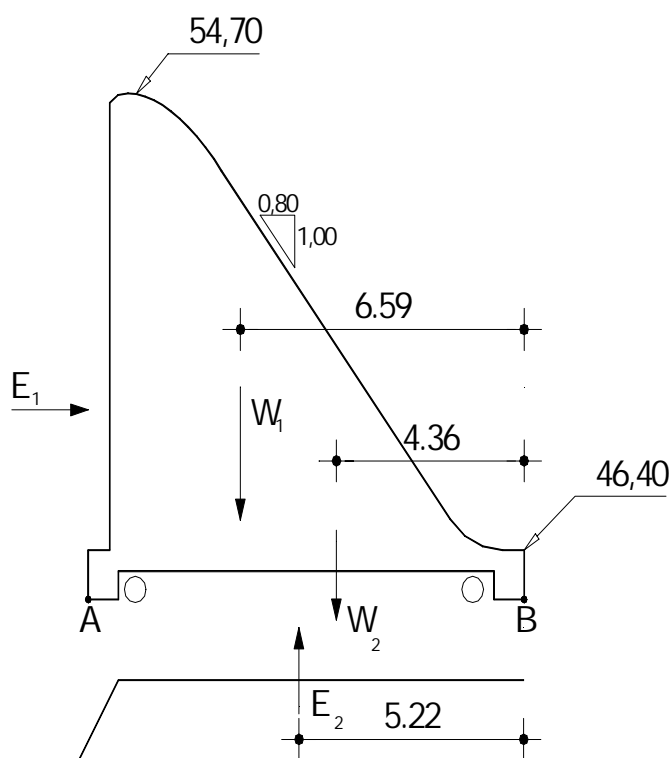
### 12.2.1. Muro Vertedouro

O muro vertedouro que é um perfil “Creager” será construído em concreto ciclópico.

As características do muro são:

- Cota da Crista = 54,70m;
- Cota de Assentamento da base = 46,00m;
- Cota de Assentamento das Chavetas = 45,70m;
- Parâmetro de montante = Vertical;
- Talude de Jusante = 0,8:1,0 (V:H).

A seção tipo do muro é mostrado na figura a seguir:



A análise de estabilidade será feita considerando uma situação onde esteja vertendo a lâmina milénar, para efeito de empuxo da água e que a pressão da água em baixo do



muro tem no ponto A a carga hidráulica e que se reduza para metade deste já a partir do dreno da chaveta de montante. Os pesos específicos utilizados foram  $\gamma_{\text{água}} = 1,0 \text{ tf} / \text{m}^3$  e  $\gamma_{\text{cc}} = 2,20 \text{ tf} / \text{m}^3$ .  $\gamma_{\text{R}} = 2,5 \text{ tf} / \text{m}^3$ .

- Cálculo dos esforços

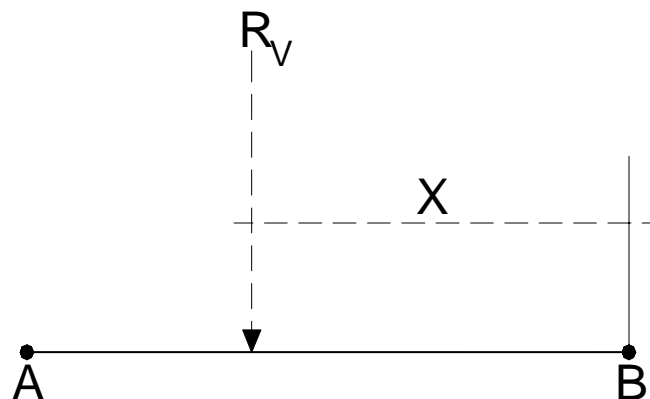
$$W_1 = 46,65 \times 2,20 = 102,63 \text{ tf} / \text{m}$$

$$W_2 = 2,61 \times 2,50 = 6,52 \text{ tf} / \text{m}$$

$$E_1 = 54,07 \text{ tf} / \text{m}$$

$$E_2 = 54,95 \text{ tf} / \text{m}$$

- Cálculo da posição da Resultante vertical na linha  $\overline{AB}$  em relação ao ponto B.

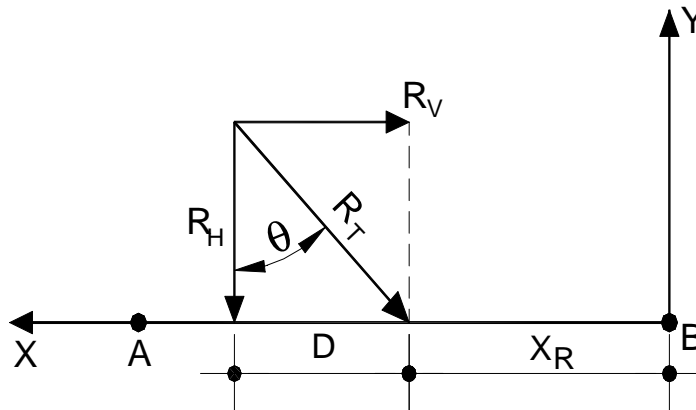


$$R_V \cdot X = 102,63 \times 6,59 + 6,52 \times 4,36 - 54,95 \times 5,22$$

$$X = \frac{417,91}{54,20} = 7,71 \text{ m}$$



- Cálculo da posição da resultante total na base  $\overline{AB}$ .



$$\operatorname{tg}\theta = 0,997m$$

$$\alpha = 45,068^\circ$$

$$\operatorname{tg}\alpha = 1,00m$$

$$y - 3,37 = 1,0 * (x - 7,71)$$

$$y = x - 4,34m$$

$$\text{Para } y = 0 \Rightarrow x_R = 4,34m$$

- Cálculo da Excentricidade.

$$e = x_R - \frac{B}{Z} = 4,37 - 5,06 = -0,69m$$

A resultante passa a 0,69m a direita do centro da base.

$$e = 0,69 \leq \frac{B}{6} = 1,68m$$

A excentricidade cai dentro do terço central da base.





- Verificação da estabilidade ao tombamento.

· Momento Tombador  $M_T$

$$M_T = 54,07 \times 3,37 + 54,95 \times 5,22 = 469,05m$$

· Momento Resistente  $M_R$

$$M_R = 102,63 \times 6,59 + 6,52 \times 4,36 = 704,75m$$

O coeficiente de segurança ao tombamento.

$$S = \frac{M_R}{M_T} = \frac{704,75}{469,05} = 1,502m \text{ OK!}$$

- Verificação ao escorregamento do Muro.

A condição a ser obedecida é de que :

$$R_H \times 1,5 \leq R_V \times tg\phi$$

$$\phi = \text{ângulo de atrito Muro x Rocha} = 40^\circ$$

Adotando uma tensão de  $30tf / m^2$

$$R_H = 54,07 - 0,30 \cdot 1,0 \times 30 - 0,70 \times 1,0 \times 30$$

$$R_H = 24,07m$$

$$1,5 \times R_H = 36,10m$$

$$R_V \times tg\phi = 54,20 \times 0,83 = 44,98m$$

Portanto  $1,5 \times R_H \leq R_V tg\phi$  OK!



- Cálculo das tensões na base  $\overline{AB}$ .

a) Com água a montante

$$R_V = 54,20tf / m$$

$$e = 0,69m$$

$$B = 10,12m$$

$$\sigma_A = \frac{R_V}{B} \times \left( 1 + \frac{6 \times e}{B} \right)$$

$$\sigma_A = \frac{54,20}{10,12} \times \left( 1 - \frac{6 \times 0,69}{10,12} \right) = 3,16tf / m^2$$

$$\sigma_B = \frac{R_V}{B} \times \left( 1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$\sigma_B = \frac{54,20}{10,12} \times \left( 1 + \frac{6 \times 0,69}{10,12} \right) = 7,54tf / m^2$$

b) Sem água a montante

$$R_V = 109,15tf / m$$

$$e = 1,39m$$

$$B = 10,12m$$

$$\sigma_A = \frac{R_V}{B} \times \left( 1 + \frac{6 \times e}{B} \right)$$

$$\sigma_A = \frac{109,15}{10,12} \times \left( 1 + \frac{6 \times 1,39}{10,12} \right) = 19,6tf / m^2 \text{ OK!}$$

$$\sigma_B = \frac{R_V}{B} \times \left( 1 - \frac{6 \times e}{B} \right)$$



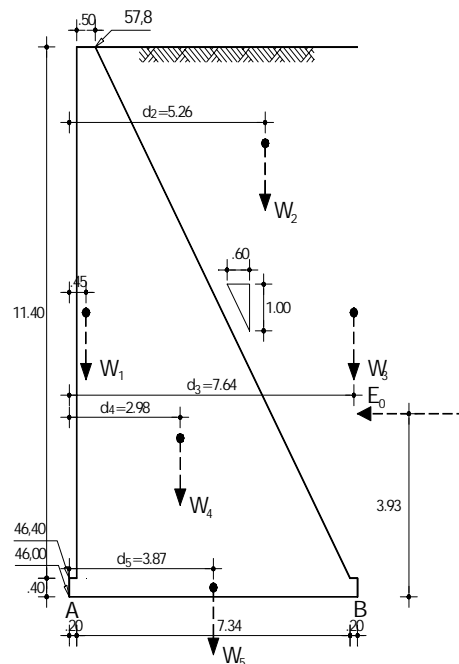
$$\sigma_B = \frac{109,15}{10,12} \times \left( 1 - \frac{6 \times 1,39}{10,12} \right) = 1,89 \text{ tf} / \text{m}^2 \quad \text{OK!}$$

### 12.2.2. Muros Laterais

Os muros Laterais serão construídos de concreto ciclópico e terão altura variada. Serão fundados na cota 46,00m. A cota máxima de coroamento é a 57,80m no trecho de encontro com a barragem.

A análise da estabilidade será desenvolvida na máxima seção.

A seção máxima é mostrada na figura abaixo:



Dados:

Solo  $\gamma_s = 2,0 \text{ tf} / \text{m}^3$   
 $K_0 = 0,5$

Concreto ciclópico:

$$\gamma_c = 2,20 \text{ tf} / \text{m}^3$$

- Cálculo dos Esforços



$$W_1 = 0,50 \times 11,40 \times 2,20 = 12,54tf / m$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \times 11,40 \times 6,84 \times 2,0 = 77,97tf / m$$

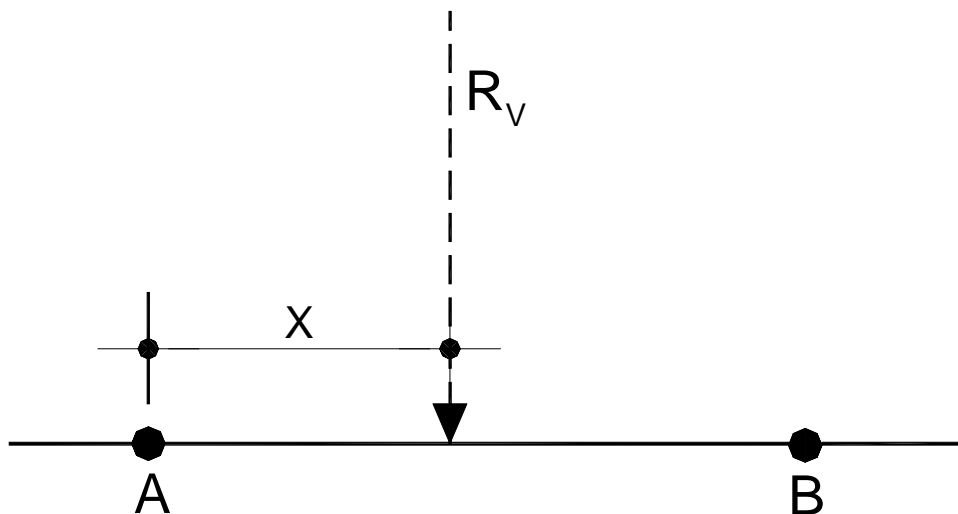
$$W_3 = 0,20 \times 11,40 \times 2,0 = 4,56m$$

$$W_4 = \frac{1}{2} \times 11,4 \times 6,84 \times 2,2 = 85,77m$$

$$E_0 = \frac{1}{2} \times 2,0 \times 0,5 \times 11,8^2 = 69,62m$$

$$W_5 = 0,40 \times 7,74 \times 2,0 = 6,19m$$

- Determinação do ponto onde a resultante vertical corte a base  $\overline{AB}$ .

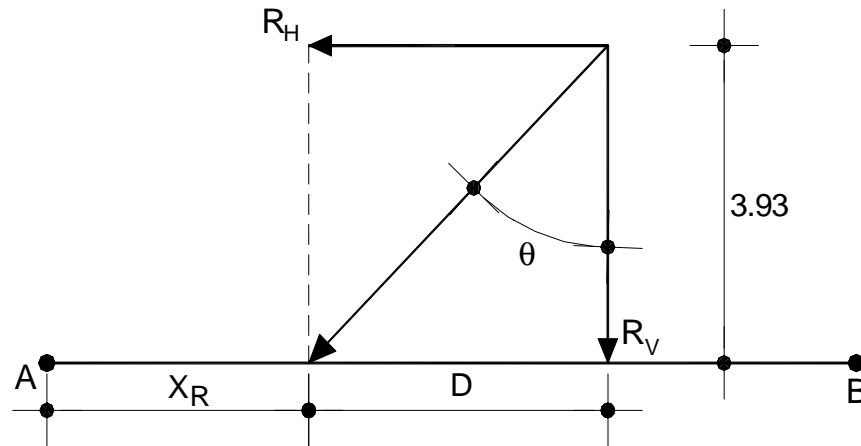


$$R_v \cdot X = 12,54 \times 0,45 + 77,97 \times 5,26 + 4,45 \times 7,64 + 85,77 \times 2,98 + 6,19 \times 3,87$$

$$X = 3,89m.$$



- Determinação da posição onde a Resultante total corte a base  $\overline{AB}$ .



$$R_V = 187,03m$$

$$R_H = 69,62m$$

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{R_H}{R_V} = 0,37m$$

$$D = 3,93 \times 0,37 = 1,45m$$

$$X_R = X - D$$

$$X_R = 3,89 - 1,45 = 2,44m$$

Determinação da excentricidade da Resultante.

$$e = \frac{B}{2} - X_R = 3,87 - 2,47 = 1,43m$$

$$\frac{B}{6} = 1,43m.$$

A resultante esta aproximadamente dentro do Terço central da base.



- Verificação da estabilidade ao tombamento em torno do ponto.

- Momento Tombador

$$M_t = 69,62 \times 3,93 = 273,60m$$

- Momento Resistente

$$M_r = 187,03 \times 3,89 = 727,54m$$

- Coeficiente de Segurança

$$S = \frac{727,54}{273,60} = 2,65 > 1,5 \text{ OK!}$$

- Verificação à estabilidade ao escorregamento.

Deve-se ter:

$$1,5R_v \leq R_v \cdot tg\theta$$

$\theta$  = ângulo de atrito Muro x Rocha  $\varphi = 35^\circ$

$$1,5 \times R_H = 104,43 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$R_v \times tg\varphi = 130,95 \Rightarrow \text{OK!}$$

- Cálculo das tensões:

$$\sigma_A = \frac{R_v}{B} \times \left( 1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right)$$

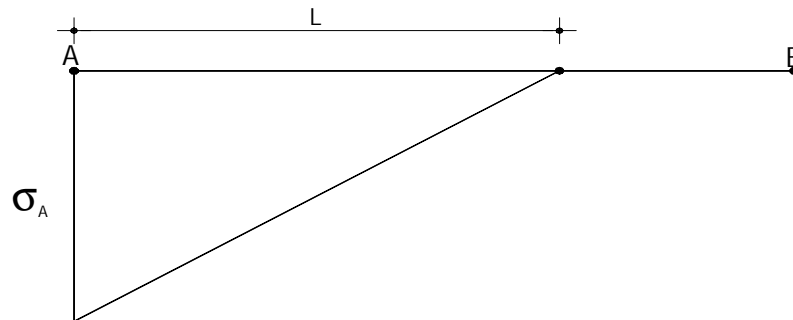
$$\sigma_B = \frac{R_v}{B} \times \left( 1 - \frac{6 \cdot e}{B} \right)$$

$$\sigma_A = 50,95tf / m^2$$

$$\sigma_B = -2,62tf / m^2 \text{ (Tração).}$$



Como a interface base do muro rocha não reage aos esforços de tração. Haverá uma redistribuição das tensões num diagrama triangular da forma abaixo:



Tem-se:

$$\frac{\sigma_A \times L}{2} = 187,03m$$

$$\frac{1}{3} L = 2,44m$$

$$L = 7,32m$$

$$\sigma_A = \frac{187,03 \times 2}{7,32} = 51,10tf / m^2 \text{ OK!}$$

### 12.2.3. Muro Frontal

O muro frontal será fundado na cota 46,00m e a crista do muro ficará na cota 48,20 m. Esse muro será executado com concreto estrutural e com armadura solidarizada a armadura das laje do piso. Devido a esta solidarização é desprezada a necessidade de verificação da análise da estabilidade.

### 12.2.4. Laje do Fundo

O fundo da bacia de dissipação terá uma laje de concreto armado com 0,30m de espessura que será amarrada por chumbadores de Aço CA-50 de  $\phi=22mm$  com 6,0metros de comprimento distribuídos em planta nos vértice de um quadrado de lado 2,0m.



## 12.2.5. Dimensionamento da Laje e dos Tirantes

### 12.2.5.1. Generalidades

O sistema estrutural trata de uma laje em concreto armado com espessura de 30cm, atirantada à rocha em painéis de 2,0 x 2,0m.

### 12.2.5.2. Material Empregado

Concreto armado de  $f_{ck} = 20$  MPa e Aço CA-50.

### 12.2.5.3. Verificação de Segurança

Foram observadas todos os itens da NB-1 que tratam do estado limite último.

### 12.2.5.4. Cálculo de Esforços

A estrutura foi analisada como uma grelha apoiada nos tirantes e submetido a um esforço vertical de  $4tf/m^2$ .

Obteve-se:

$$M_{MAX}^{++} = 1,41tf \cdot m / m$$

$$M_{MAX}^{-} = 2,0tf \cdot m / m$$

Reação no tirante  $R = 12tf$

### 12.2.5.5. Cálculo da Armadura

Tendo em vista a espessura da laje e os valores dos esforços calculados deve-se observar a condição de armadura mínima.

$$A_{MIN} = 0,15\% \times b \times d$$

$$A_S = 0,15 \times \frac{100 \times 27}{100} = 4,05cm^2 / m$$

Logo deve-se ter  $\phi 10.0mm$  c / 20.





O dimensionamento do tirante é dado:

$$A_s = \frac{T \times 1,4}{f_{cy}}$$

$$A_s = \frac{12,00 \times 1,4}{4,35} = 3,86 \text{ cm}^2$$

Portanto os tirantes serão de  $\phi = 22,0 \text{ mm}$ , os tirantes serão cravados na rocha  $L = 5,0 \text{ m}$ .

### 12.3. CANAL DE RESTITUIÇÃO

O canal de restituição foi projetado geometricamente em planta e perfil utilizado o computacional Softdesk, da Autodesk, a partir dos arquivos magnéticos do levantamento topográfico do eixo barrável e eixo sangradouro.



MONTGOMERY WATSON



### **13.0. COTA DO VOLUME DE ALERTA**

---



### **13.0. COTA DO VOLUME DE ALERTA**

A cota do volume morto foi definida em 48,00m acumulando 11.056.000m<sup>3</sup> correspondente à cerca 18% do volume máximo.



MONTGOMERY WATSON



## **14.0. TOMADA D'ÁGUA**

---



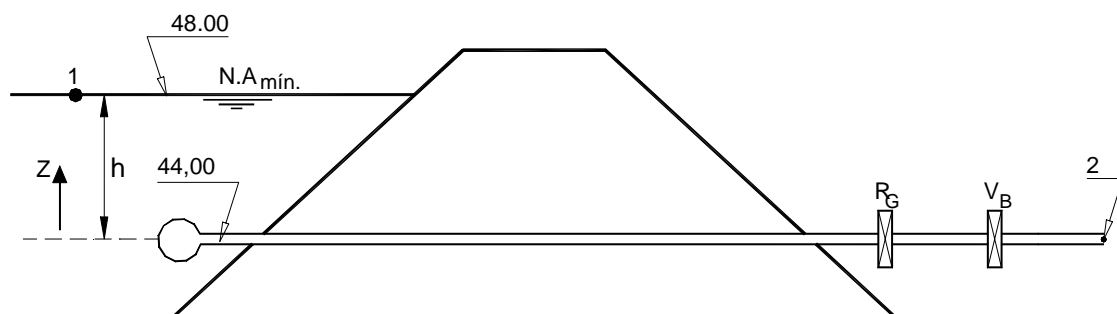
## 14.0. TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água ficará localizada na estaca 54+10,00 cujo terreno natural está na cota 47,65m. A tomada d'água terá extensão de 90,00m. A galeria será em tubo de ferro fundido de diâmetro  $\phi = 500\text{mm}$ . O corpo da galeria consistirá de um maciço de concreto ciclópico e sobre este ficará o corpo da galeria que terá um envoltório de concreto armado.

Na extremidade de montante terá uma caixa de concreto armado com uma grade de retenção e um crivo. Em jusante terá também uma caixa com três células, o primeiro acomodará a válvula borboleta e um registro de gaveta.

A segunda é um dissipador de energia. Finalmente a terceira célula é um tanque tranquilizador com um vertedouro triangular na extremidade.

### 14.1. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA GALERIA.



Considerando a válvula borboleta e os registros de gaveta totalmente abertos. Considerando o nível mínimo de operação, cota 48,00m, e a vazão a ser regularizada de  $0,330\text{m}^3/\text{s}$  com 90% dimensiona-se o tubo para passar essa vazão com velocidade de  $2,0\text{m/s}$ .

$$Q = V \cdot S$$



$$S = \frac{Q}{V}$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{V}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,33}{\pi \times 2,0}} = 0,458m$$

Será adotado D=500mm.

A velocidade para a vazão será :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,330}{0,196} \cong 1,68m/s$$

Determinação das vazões e velocidade para as cotas de 48,00m a 54,70m com a válvula borboleta e o registro de gaveta totalmente abertos.

- Para a cota mínima 48,00m.

Aplicando a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + h + \frac{\overline{V_1^2}}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + 0 + \frac{\overline{V_2^2}}{2g} + h_f + h_L$$

tem-se:

$$P_1 = P_2 = P_{atm}$$

$$V_1 \cong 0$$

$h_f$  = perda de carga por fricção

$h_L$  =perda de carga localizada.



$h_f$  é determinada pela expressão de Darcy-Weisbach dada por:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_L = \sum Ki \frac{V_2^2}{2g}$$

$Ki$  = coeficiente de perda de carga localizada.

$$K_1 = \text{Grade} = 1,45$$

$$K_2 = \text{Crivo} = 2,30$$

$$K_3 = \text{Válvula Borboleta} = 0,36$$

$$K_4 = \text{Registro de Gaveta} = 0,10$$

$$K_5 = \text{Saída} = 1,0$$

$$h_t = h_f + h_L$$

$$h_t = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \sum K_i \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_t = f \cdot \frac{80}{0,50} \cdot \frac{V_2^2}{19,62} + 5,21 \times \frac{V_2^2}{19,62}$$

$$h_t = 8,15 \cdot f \cdot V_2^2 + 0,26 \cdot V_2^2$$

Substituindo na equação de Bernoulli, obtém:

$$h = \frac{V_2^2}{2g} + 8,15 \cdot f \cdot V_2^2 + 0,26 V_2^2$$

$$h = 0,051 \cdot V_2^2 + (8,15f + 0,26) \cdot V_2^2$$



$$h = \left[ \frac{h}{(8,15f + 0,31)} \right]^{1/2}$$

Tem-se a velocidade como função de  $f$ . O processo de resolução deste problema é pelo método da convergência. Atribui-se valor a  $f$  e determina-se  $V_2$ . Com  $V_2$  calcula  $f$  e determina-se novamente  $V_2$ . O processo prossegue até a convergência.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Onde:

Re = Número de Reynold

$\nu$  = Viscosidade Cinemética

Para a água a 30° tem-se:

$$\nu = 8,04 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Do ábaco de Rugosidade Relativa x Diâmetro tem-se para ferro fundido de  $\phi=500\text{mm}$ ,

$$\frac{e}{D} = 0,0005.$$

Para  $h = 48,00 - 44,00 = 4,00\text{m}$ , adotando  $f = 0,03$  tem-se:

$$V_2 = \left[ \frac{4,00}{8,15 \times 0,03 + 0,31} \right]^{1/2} = 2,68\text{m} / \text{s}$$

Para  $V_2 = 2,68\text{m} / \text{s}$

$$Re = \frac{2,68 \times 0,50}{8,07 \times 10^{-7}} = 1,6 \times 10^6$$

Para  $Re = 1,6 \times 10^6$  e  $\frac{e}{D} = 0,005$ .

Do ábaco de Moody tira-se:





$$f = 0,0168$$

Para  $f = 0,0168$  tem-se:

$$V_2 = \left[ \frac{4,00}{8,15 \times 0,0168 + 0,31} \right]^{1/2} = 2,99 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{2,99 \times 0,50}{8,07 \times 10^{-7}} = 1,8 \times 10^6$$

do Ábaco de Moody tira-se  $f \cong 0,0168$  OK!

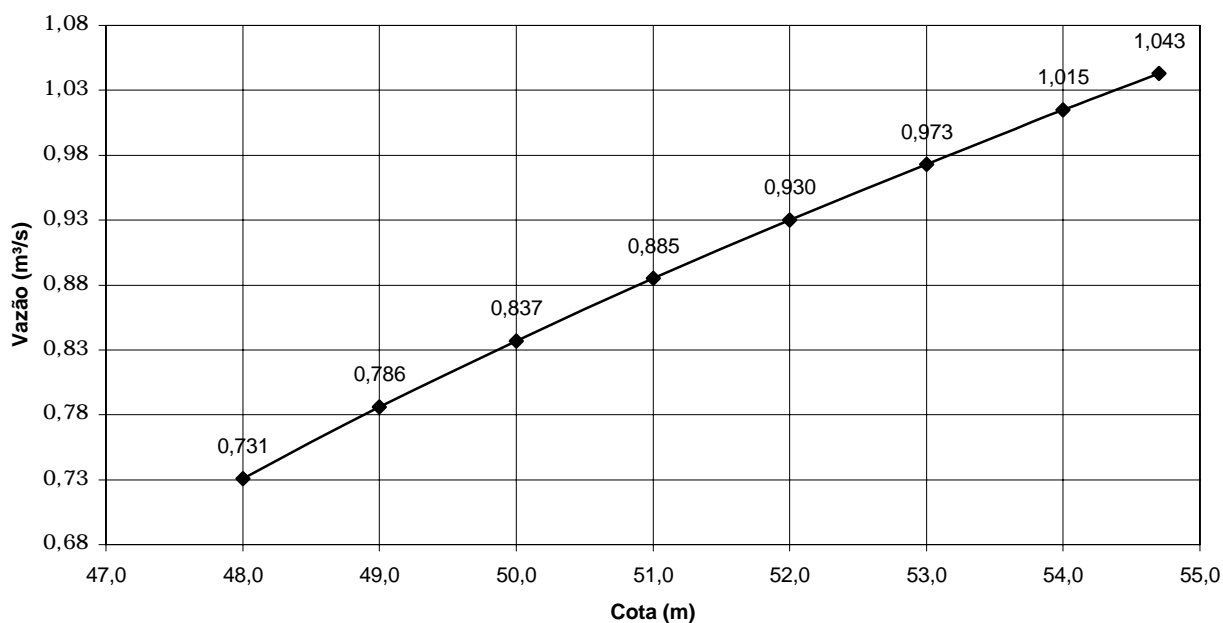
A vazão para a cota 48,00 é  $Q = 2,99 \times 0,196 = 0,586 \text{ m}^3 / \text{s}$ .

Esse procedimento foi repetido da Cota 48,00m a 54,70m, obtendo-se o quadro a seguir:

COTA (m)	VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)	VELOCIDADE (m/s)
48,00	0,589	2,99
49,00	0,654	3,34
50,00	0,716	3,68
51,00	0,775	3,96
52,00	0,829	4,23
53,00	0,879	4,49
54,00	0,928	4,74
54,70	0,960	4,91

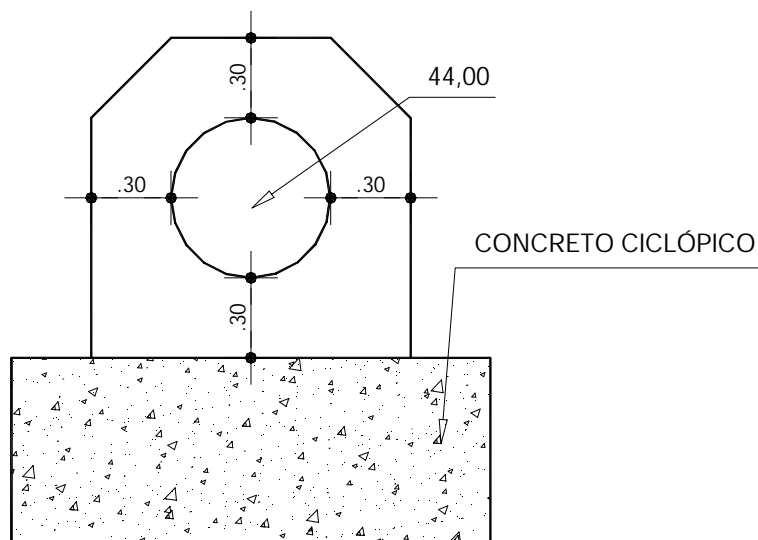
Na figura a seguir é apresentada a curva de operação Cota x Vazão.

Gráfico: COTA x VAZÃO



#### 14.2. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

A galeria foi dimensionada considerando a tubulação funcionando na seção mais carregada. Ver seção esquemática.



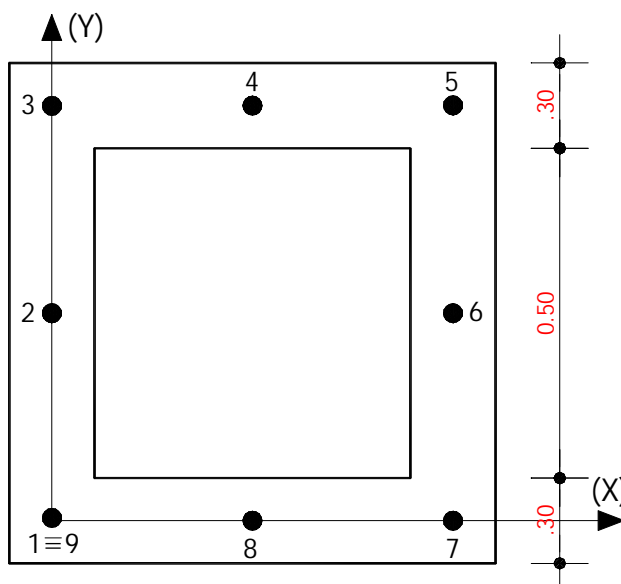
A galeria está submetida a tensão vertical  $\sigma_v = 26,50tf / m^2$ .



A modelagem foi feita considerando um quadro fechado e o cálculo foi feito pelo programa Sistrut.

Os resultados dos cálculos são mostrados a seguir.

O quadro da modelagem é apresentado a seguir.



O quadro tem nove nós e oito membros.



MONTGOMERY WATSON



## 15.0. ANÁLISE DOS RECALQUES

---



## 15.0. ANÁLISE DOS RECALQUES

Os materiais que formam o corpo das barragens são submetidos a deformação elásticas devido a ação do peso próprio. A avaliação desses recalques tem a finalidade de corrigir a cota do coroamento da barragem para compensar o abatimento. Para determinação deste recalque adotou-se uma forma simplificada de cálculo descrita a seguir:

- Dividiu-se o maciço, em sua seção máxima, em lamelas de 2,0m de espessura.
- Para cada lamela determinou-se a tensão vertical no meio da camada .
- Aplicou-se a expressão dada por :

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{mi}}{E_i} \cdot \Delta H_i$$

onde:

S = Recalque total em m.

$\sigma_{mi}$  = Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm<sup>2</sup>

$\Delta H_i$  = Espessura da lamela.

$E_i$  = Módulo de elasticidade do material da lamela i.

O módulo de elasticidade foi obtido da análise das curvas de Tensão x Deformação, obtidos dos ensaios de compressão triaxial. Para facilidade de determinação, sem que isso implicasse em perda de precisão, pelo módulo secante.

Outro aspecto considerado foi a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem.

Considerando apenas a Jazida J-02, que comporá o núcleo e fundação da barragem, o peso específico aparente seco máxima obtido do ensaio de compactação é de 1,74tf/m<sup>3</sup> e a umidade ótima correspondente é de 16,60%. O peso úmido será de 2,02tf/m<sup>3</sup>. Com



base no peso úmido foi considerado para efeito de tensão confinante, as seguintes tensões medidas em função da altura da barragem, tomando como referência o eixo Z, com zero no coroamento e orientação para baixo:

**Tabela 3.4.18 – Tensão Confinante**

Z (m)	TENSÃO CONFINANTE (kgf/cm <sup>2</sup> )
Menor que 5,0m	1,0
Entre 5,0m e 10,0m	2,0
Maior que 10,0m	4,0

Com base nas condições da acima citadas, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados a seguir:

**Modulo de Elasticidade**

TENSÃO CONFINANTE (kgf/cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE ELASTICIDADE (kN/m <sup>2</sup> )		VALOR MÉDIO kPa
	F-20	F-60	
1,0	5.980	5.500	5.740
2,0	8.100	7.300	7.700
4,0	15.100	12.200	13.650

Assim sendo:

FATIA	ESPESSURA	TENSÃO MÉDIA (kN/m <sup>2</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	S <sub>i</sub> (mm)
0,65	1,30	13,13	5.740	2,97
2,3	2,00	46,46	5.740	16,19
4,3	2,00	86,86	5.740	30,26
6,30	2,00	127,26	7.700	33,05
8,3	2,00	166,16	7.700	43,16
10,3	2,00	208,06	13.650	30,48
12,3	2,00	248,46	13.650	36,40
14,3	2,00	288,86	13.650	42,32
16,3	2,00	329,26	13.650	48,24

O recalque elástico esperado é de  $S = 283,10 \text{ mm}$ .

Esse rebaixamento do coroamento deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário.

**Consórcio**

---



**MONTGOMERY WATSON**

