



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 RIACHO DA SERRA**

**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 ENGESOFF</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	Ronei 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>6</b>
<b>2. CÁLCULO DA FOLGA.....</b>	<b>9</b>
<b>3. CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO.....</b>	<b>11</b>
<b>4. CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO .....</b>	<b>13</b>
<b>5. ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES.....</b>	<b>15</b>
<b>6. DIMENSIONAMENTO DO RIPRAP .....</b>	<b>18</b>
<b>7. DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA.....</b>	<b>23</b>
<b>8. DETERMINAÇÃO DA PERCOLAÇÃO PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>9. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL.....</b>	<b>30</b>
<b>10. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL .....</b>	<b>32</b>
<b>11. ANÁLISE DA ESTABILIDADE.....</b>	<b>34</b>
<b>12. COTA DO VOLUME DE ALERTA .....</b>	<b>61</b>
<b>13. TOMADA D'ÁGUA.....</b>	<b>63</b>
<i>13.1. Dimensionamento Hidráulico da Galeria .....</i>	<i>64</i>
<i>13.2. Dimensionamento Estrutural.....</i>	<i>69</i>
<b>14. ANÁLISE DOS RECALQUES.....</b>	<b>71</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 Nº 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, Iracema e Amontada. A ordem de serviço foi emitida em 05 de março de 2001.

O presente trabalho compõem o Volume III – Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Riacho da Serra, integrante da Bacia do rio Jaguaribe, para o abastecimento da população do município de Iracema, 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.

Neste Volume é apresentado o Tomo 3 – 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;
- Cota do Volume Morto;
- Tomada d'água;
- Análise dos Recalques.



MONTGOMERY WATSON



## **2. CÁLCULO DA FOLGA**

---



## 2. 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 :

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

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

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

V = Velocidade da onda em m/s dado pela fórmula:

$$V = 1,5 + 2h \text{ (m/s)}$$

Para o lago da barragem Riacho da Serra tem-se  $F = 8,38\text{Km}$ , logo:

$$h = 0,75 + 0,34 \times 8,38^{1/2} - 0,26 \times 8,38^{1/4}$$

$$h = 1,29\text{m}$$

$$V = 1,5 + 2 \times 1,29 = 4,08\text{m/s}$$

$$f = 0,75 \times 1,29 + \frac{4,08^2}{2 \times 9,81} = 1,82\text{m}$$



MONTGOMERY WATSON



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

---



### 3. CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO

#### 3. 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 = 88,00m.

$L$  = Lâmina vertente na cheia milenar = 1,99m.

$f$  = folga = 1,87m.

$$C_c = 88,00 + 1,99 + 1,82 = 91,81m$$

Foi fixado a cota do coroamento igual a 92,50 m.



MONTGOMERY WATSON



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

---





#### 4. CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO

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

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

Onde:

$L_c$  = Largura da barragem (m);

$H_b$  = Altura da barragem (m).

Para a seção da Estaca 16 tem  $H_b = 19,21m$  e  $LC = 1,10x\sqrt{19,21} + 0,90 = 5,72m$ , foi adotado  $L_c = 6,0m$ .



MONTGOMERY WATSON



## **5. ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES**

---



## 5. 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 O RÁPIDO	CLASSIFICAÇÃO O 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)

Os solos das Jazidas J-02, J-03 e J-04 são do Tipo SC, 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 80,00m.



MONTGOMERY WATSON



## **6. DIMENSIONAMENTO DO RIPRAP**

---



## 6. 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 :

$$V = 4,08m/s$$

$$C = 0,030m$$

$$e = 0,030 \times 4,08^2 = 0,49m$$

Será adotado  $e = 0,70m$ .

Os blocos empregados na construção do riprap devem ter no mínimo 50% de pedras com peso igual a:

$$P_{50\%} = 0,52 \cdot \gamma \cdot e^3$$

Onde:

$P_{50\%}$  = Peso do que compõem 50% do riprap (tf);

$\gamma$  = Peso específico da rocha = 2,50 tf/m<sup>3</sup>;

$e$  = Espessura do riprap em (m).

Portanto tem-se:





$$P_{50\%} = 0,52 \times 2,5 \times 0,70^3 = 0,45tf$$

Tem-se ainda:

$$P_{MAX} = 3 \times P_{50\%} = 1,35tf$$

$$P_{MIN} = 0,25 \times P_{50\%} = 0,1tf$$

$$D_{50\%} = \left[ \frac{P_{50\%}}{0,75 \times \gamma} \right]^{1/3} \cong 0,62m$$

$$D_{max} = \left[ \frac{P_{max}}{0,75 \times \gamma} \right]^{1/3} \cong 0,90m$$

Adotou-se:

$$D_{max} = 0,70m$$

$$D_{min} = \left[ \frac{P_{min}}{0,75 \times \gamma} \right]^{1/3} \cong 0,39m$$

O riprap será assente sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura obtida de produto de britagem, atendendo aos seguintes requisitos:

- Material filtrante x Solo Compactado

$$(D_{15})_{\text{FILTRO}} \leq 5 \times (D_{85})_{\text{SOLO}}$$

- Material filtrante x Riprap

Como a altura da onda varia entre 1,20 e 3,0m então deve-se ter:

$$3,8 \leq (D_{85})_{\text{FILTRO}} \leq 5,1cm$$

- Apresentar curvas granulométricas aproximadamente paralelas.



O solo compactado do maciço apresenta a seguinte granulometria média, mostrado no quadro a seguir:

<b>SOLO COMPACTADO</b>	
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Faixa Granulometria (%)</b>
19,10	100
12,70	99
9,52	98
4,80	94
2,00	88
0,42	51
0,15	36
0,075	30

Tem-se:

$$(D_{85})_{SOLO} = 2,0mm$$

$$(D_{15})_{FILTRO} \leq 6,0mm$$

Com essas informações, e recorrendo-se ao traçado das curvas granulométricas obtém o material de transição que deve ser produzido de britagem de rochas de pedreira.

<b>MATERIAL DE CONSTRUÇÃO</b>	
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Faixa Granulometria (%)</b>
200	100
100	80 - 91
50,8	68 - 33
38,10	61 - 77
25,4	53 - 70
19,10	44 - 66
(Nº 4) 12,27	26 - 57
(Nº 10) 9,5	15 - 50
4,76	4 - 36
2,0	-



O material do riprap deve ser produzido com a seguinte granulometria:

<b>MATERIAL DO RIPRAP</b>	
<b>Peneiras (mm)</b>	<b>Faixa Granulometria</b>
700	100
600	74 – 98
500	10 – 82
400	–



MONTGOMERY WATSON



## **7. DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA**

---



## 7. 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:

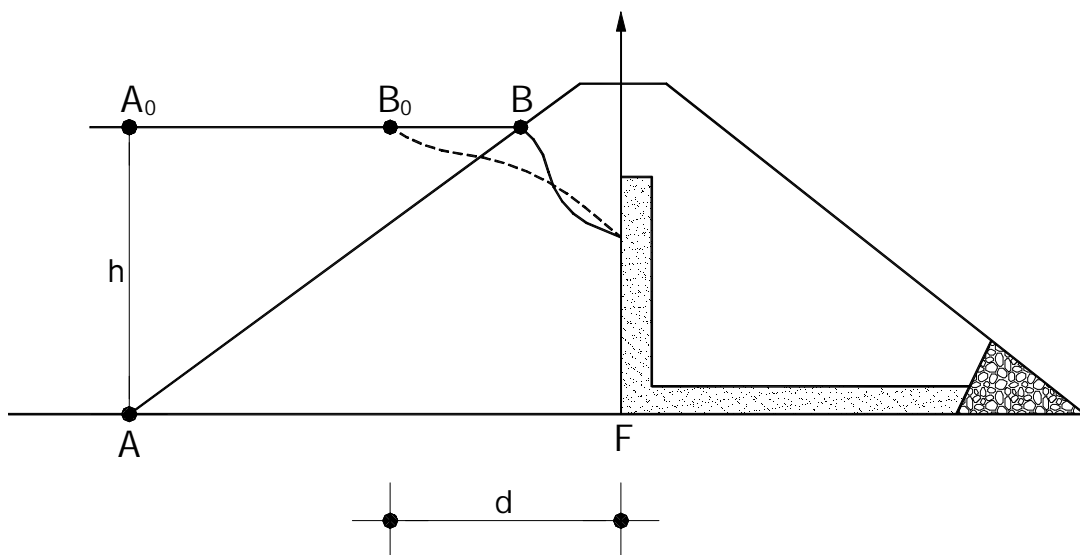
$$P = \sqrt{X^2 + Y^2} - X$$

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

$$A_0B = 41,64m$$

$$B_0B = 13,88m$$

$$d = 24,87m$$





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  $d=8,29\text{m}$  e  $h=16,20\text{m}$  tem-se:

$$p = 9,90\text{m}$$

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:

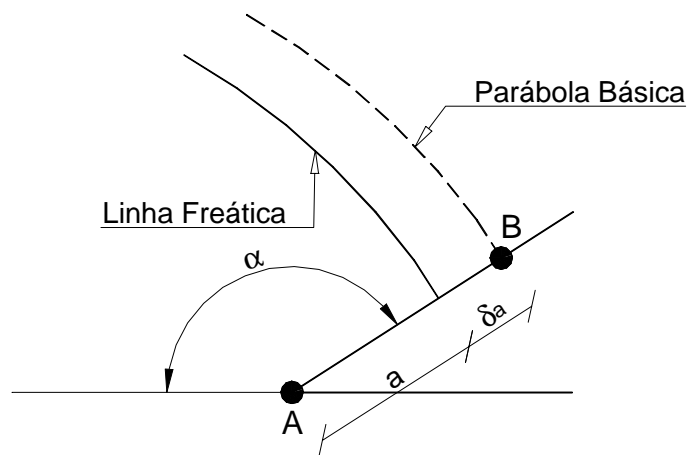
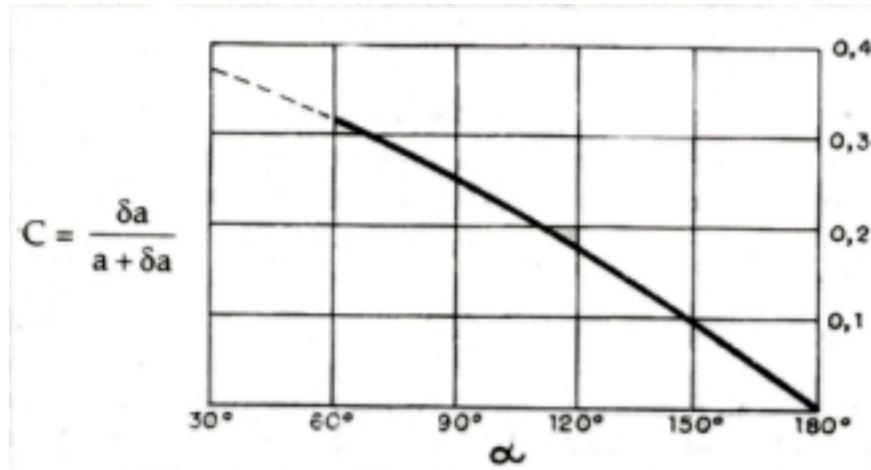
$X_t$	$Y$
0	9,90
2,00	11,73
4,00	13,31
6,00	14,72
8,29	16,20

$Y_{CORRIGIDO}$  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  $C = 0,25m$

$$a + \delta a = 9,90m$$

$$\delta a = 2,47m$$

$$a = 7,43m$$



MONTGOMERY WATSON



## **8. DETERMINAÇÃO DA PERCOLAÇÃO PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO**

---



## 8. ESTUDOS DE PERCOLAÇÃO PELA BARRAGEM E FUNDAÇÃO

Os estudos de percolação foram realizados com o objetivo principal de avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação.

Para obtenção dessas vazões foi realizado o seguinte procedimento:

- a) Vazões pelo Maciço: Determinou-se a linha freática associando esta à parábola teórica de KOZENY fazendo as correções de contorno. Foi adotado uma Anisotropia entre a permeabilidade horizontal e vertical igual a 9. Esse valor é recomendado pelo Profº Paulo Cruz, no seu livro 100 Barragens Brasileiras, para maciços terrosos compactados com altura até 20,00m.

Determinou-se a ordenada  $Y_0$  da interseção da linha freática com o filtro vertical e aplicou-se a expressão para determinação da vazão por metro de barragem.

$$q = \sqrt{K_x \cdot K_y} \cdot Y_0 \text{ m}^3 / \text{s} \times \text{m}$$

- b) Vazões pela Fundação: Considerou-se que a camada até 10,00m dentro do maciço rochoso da fundação contribui com vazão para o tapete drenante. Aplicou-se a expressão dada por:

$$q = \lambda \cdot K_f \cdot h$$

onde:

$q$  = vazão em  $\text{m}^3/\text{s} \times \text{m}$

$K$  = permeabilidade da fundação

$h$  = carga hidráulica

$\lambda$  = coeficiente que depende da relação  $B/Z$

$B$  = largura impermeável



Z = camada permeável adotada = 10,00m.

A permeabilidade vertical do maciço foi extraída dos ensaios de permeabilidade realizados nos furos das jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04. Os resultados desses ensaios são mostrados no quadro 3.2 abaixo:

**Quadro 3.2**

JAZIDA-01		JAZIDA-02		JAZIDA-03		JAZIDA-04	
Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)	Furo	K (cm/s)
12	9,0 E-07	5	8,1 E-07	9	9,4 E-07	5	8,3 E-07
60	7,7 E-07	8	7,9 E-07	21	9,1 E-07	10	8,0 E-07
97	9,9 E-07	10	1,1 E-05	23	7,9 E-07	19	1,0 E-07
121	8,3 E-07	-	-	-	-	-	-
139	8,4 E-07	-	-	-	-	-	-
151	9,4 E-07	-	-	-	-	-	-

Adotou-se a permeabilidade vertical do maciço compactado igual a  $7,5 \times 10^{-7}$  cm/s.

Para o maciço rochoso abaixo da barragem adotou-se uma permeabilidade de  $10^{-5}$  cm/s.

Para a areia adotou-se uma permeabilidade de  $5,0 \times 10^{-3}$  cm/s.

As vazões obtidas para dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna foram:

$$Q_{MACIÇO} = 1,67 \times 10^{-7} m^3 / s.m$$

$$Q_{FUNDAÇÃO} = 4,86 \times 10^{-7} m^3 / s.m$$

A vazão total que sairá no tapete horizontal será:

$$Q_{total} = 6,53 \times 10^{-7} m^3 / s.m$$



MONTGOMERY WATSON

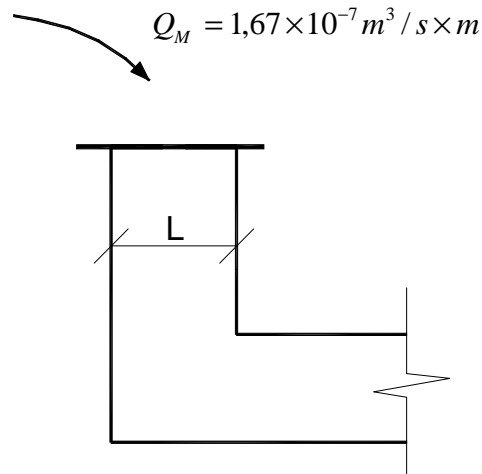


## **9. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL**

---



## 9. DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL



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

$$A = L \times 1,0\text{m}$$

$$i = 1,0\text{m}$$

$$K_\alpha = 5,0 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

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

$$L = \frac{Q}{k \cdot i} = \frac{1,67 \times 10^{-7}}{5,0 \times 10^{-5} \times 1,0} = 3,3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

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



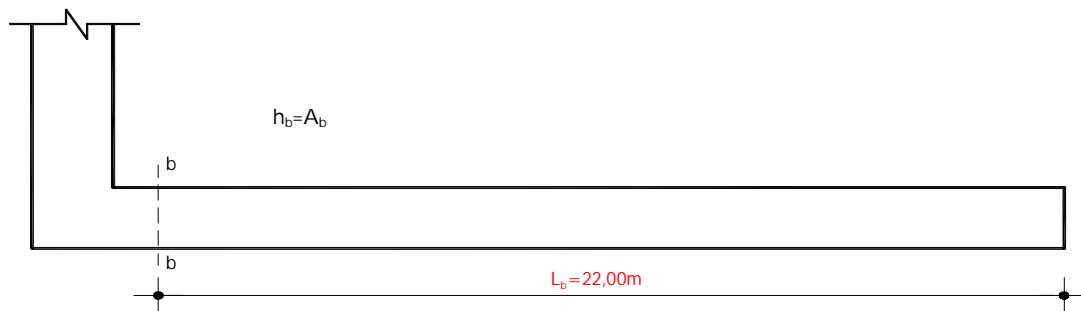
## **10. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL**

---



## 10. DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL

A vazão na seções final do tapete é de  $6,53 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s} \times \text{m}$ .



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

$$h_b = A_A$$

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

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

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

$$A_b = \sqrt{\frac{6,53 \times 10^{-7} \times 22,0}{5,0 \times 10^{-5}}} = 0,54\text{m}$$

Foi adotado 1,0m de tapete drenante de areia.





MONTGOMERY WATSON



## 11. ANÁLISE DA ESTABILIDADE

---



## 11. 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.

Nas tabelas 11.1 e 11.2 a seguir é apresentado o fator mínimo determinado em cada análise de estabilidade:

**TABELA 11.1 – Análise de Estabilidade - Estática**

Simulação	C.S. mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,974	1,676	1,686
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,642	1,628	1,652
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,642	1,512	1,601



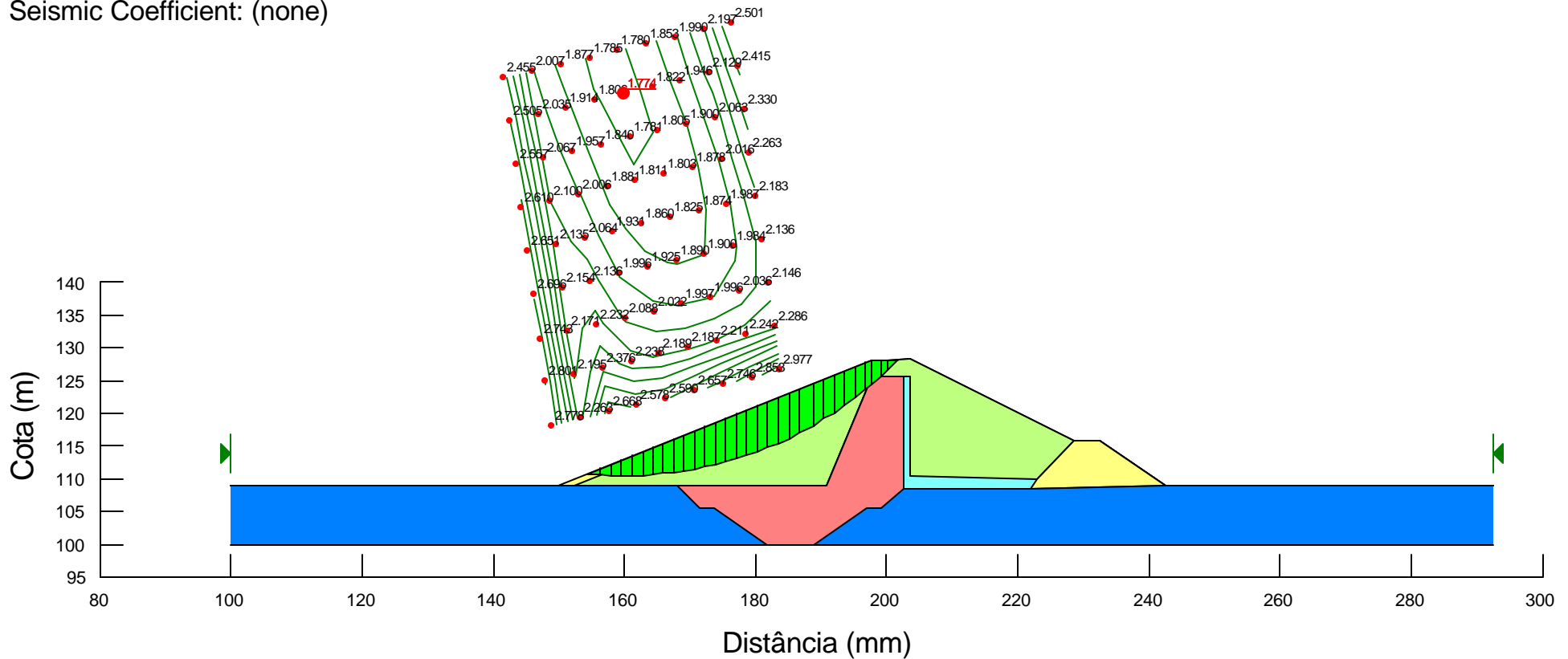
Simulação	C.S. mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Esvaziamento Rápido - Talude de Montante.	1,1	1,629	1,579	1,629

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

**Tabela 11.2 - Análise de Estabilidade - Abalo Sísmico**

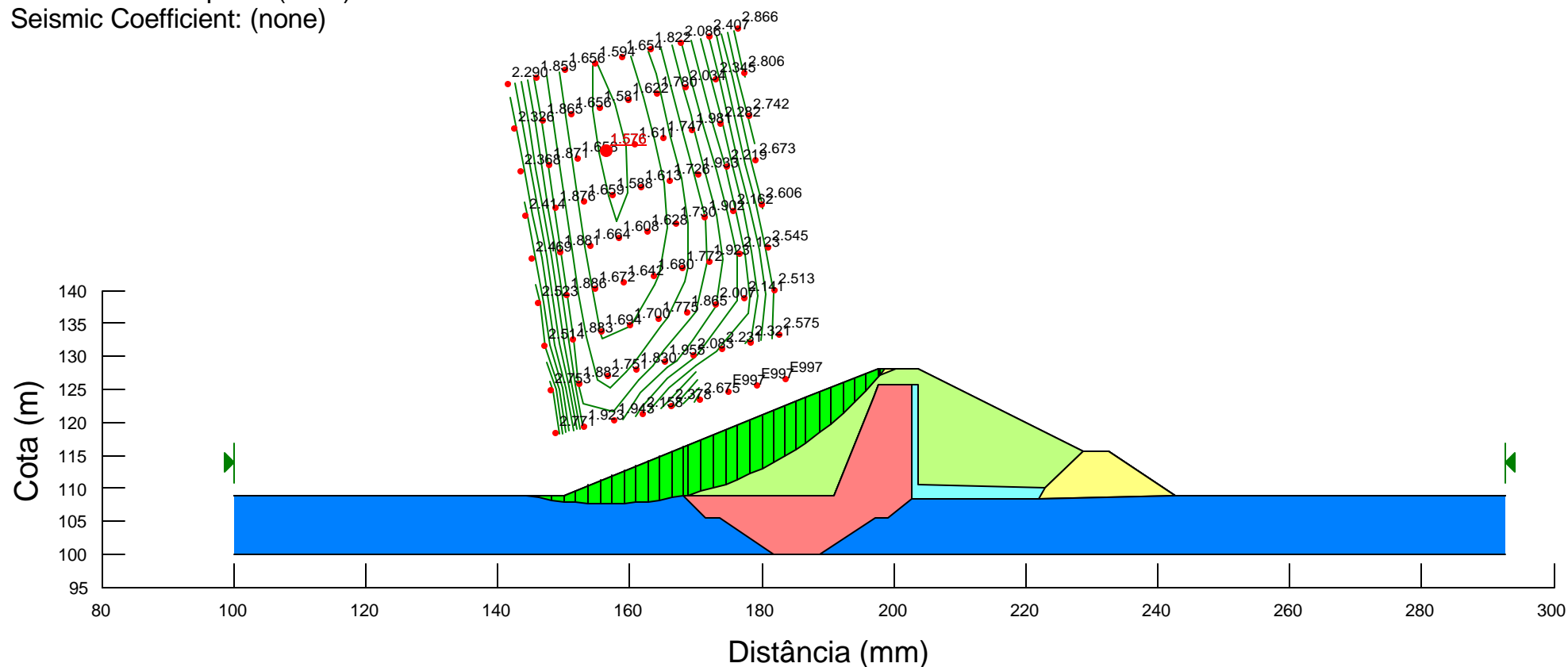
Simulação	C.S. mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção - Talude de Montante	1,0	1,465	1,314	1,407
Final de Construção - Talude de Jusante	1,0	1,384	1,374	1,398
Reservatório Cheio - Talude de Jusante	1,0	1,381	1,277	1,346
Esvaziamento Rápido - Talude de Montante.	1,0	1,363	1,342	1,394

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCMS.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 09:29:52  
 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)



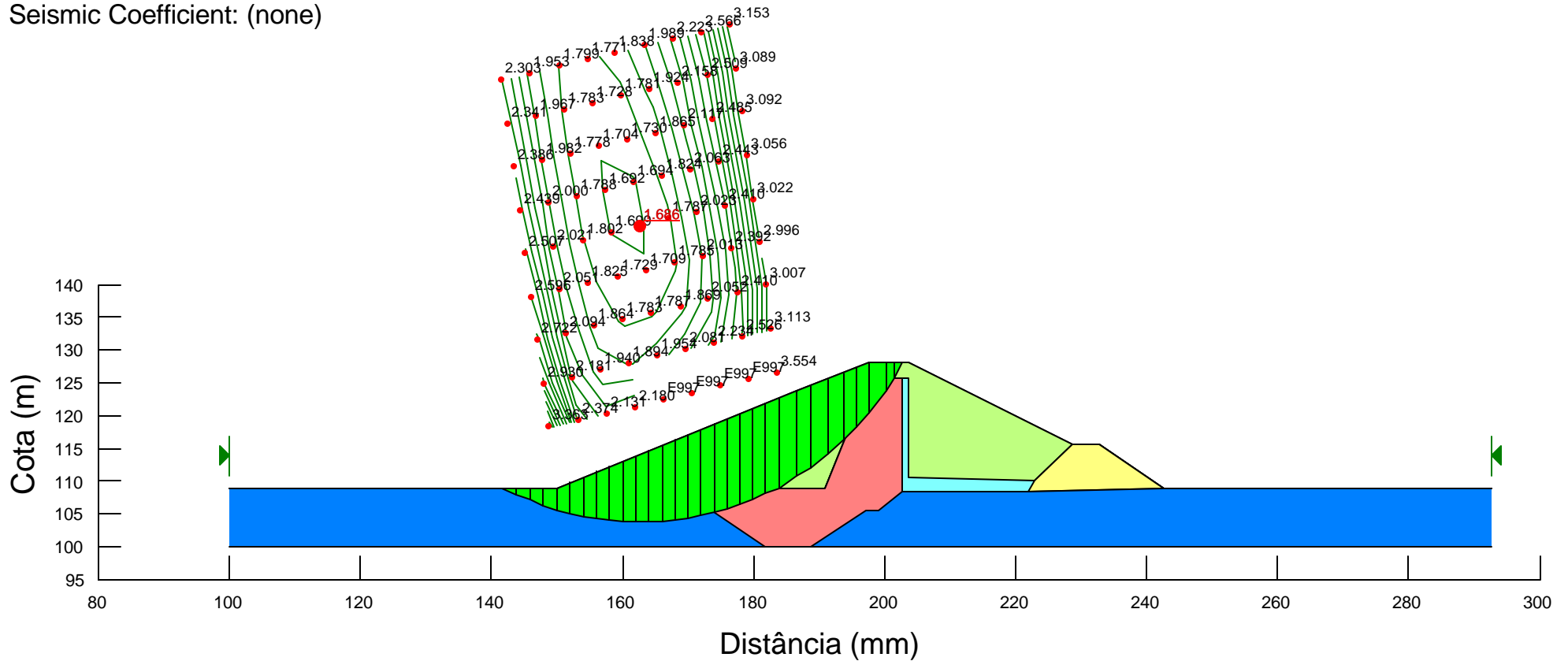
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
 FINAL DE CONSTRUÇÃO  
 TALUDE DE MONTANTE  
 CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCMI.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 09:33:20  
 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)



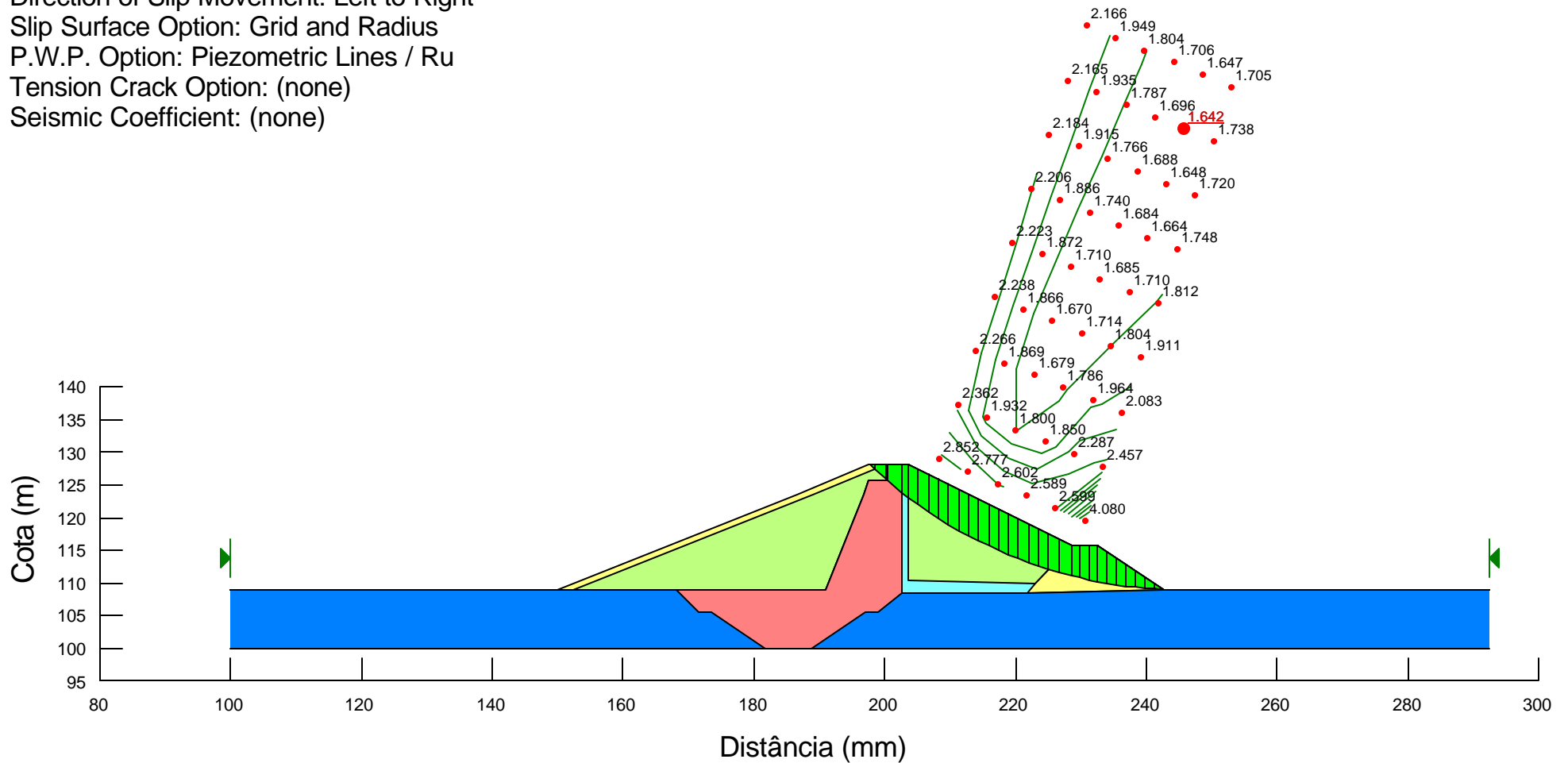
ANÁLISE DE ESTABILIDADE -ESTÁTICA  
 FINAL DE CONSTRUÇÃO  
 TALUDE DE MONTANTE  
 CAMADA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCMP.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 12:16:11  
 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)



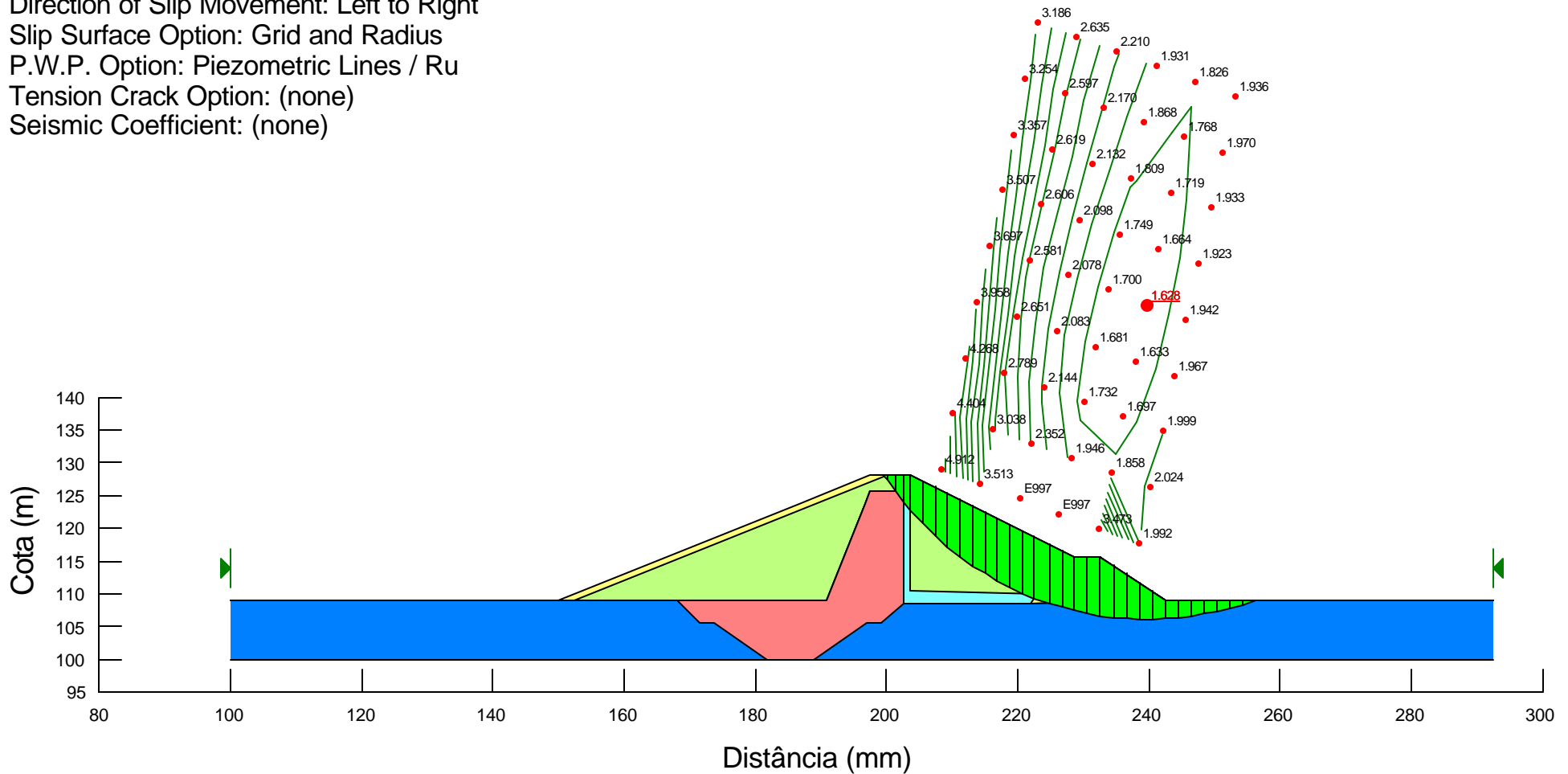
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICO  
 FINAL DE CONSTRUÇÃO  
 TALUDE DE MONTANTE  
 CAMADA PROFUNDA

Description: Barragem Riacho da Serra  
File Name: RSFCJS.slp  
Last Saved Date: 23/04/02  
Last Saved Time: 12:15:01  
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

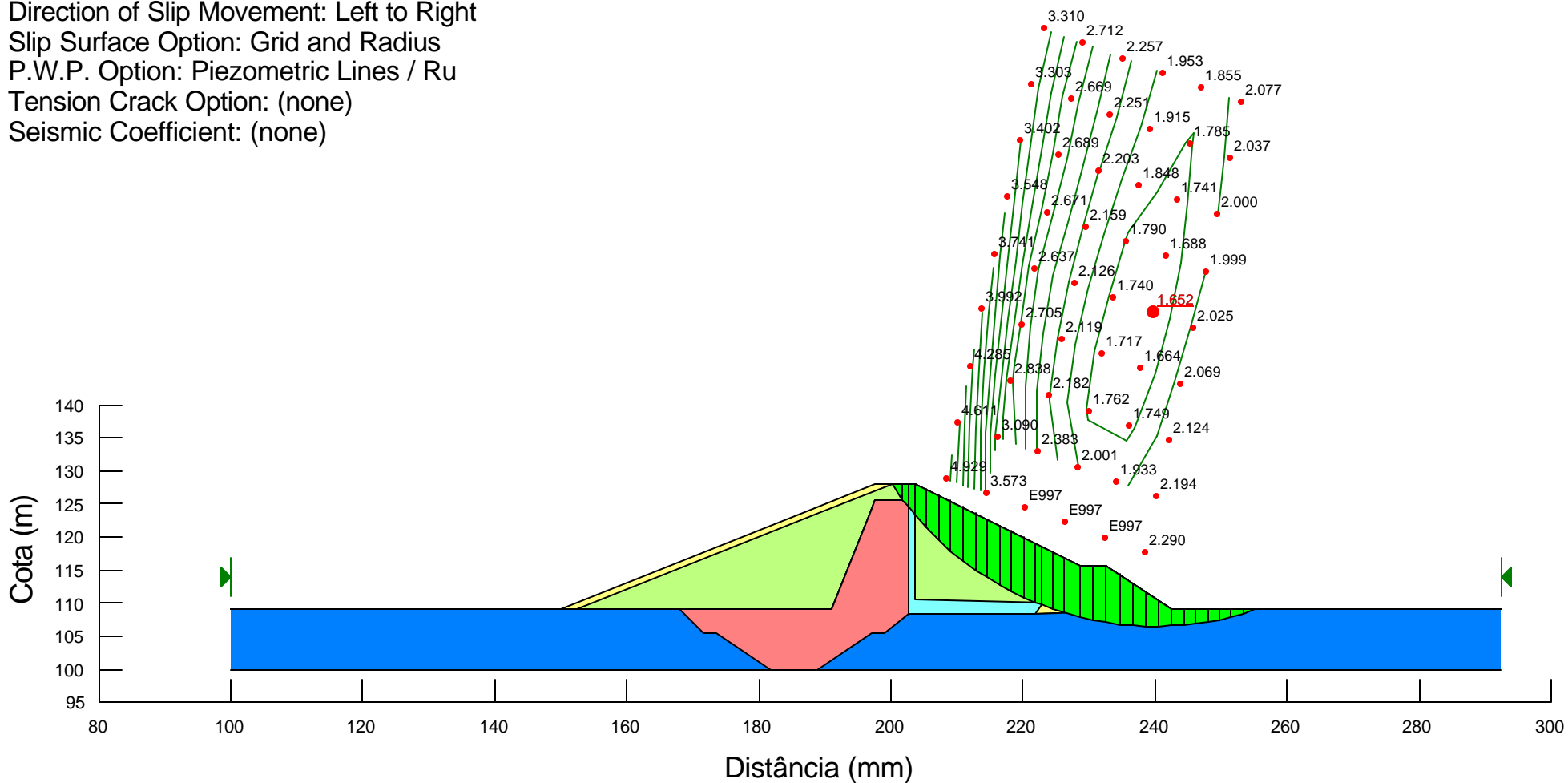
Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCJI.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 09:18:48  
 Analysis Method: Bishop  
 Direction of Slip Movement: Left to Right  
 Slip Surface Option: Grid and Radius  
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
 Tension Crack Option: (none)  
 Seismic Coefficient: (none)



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

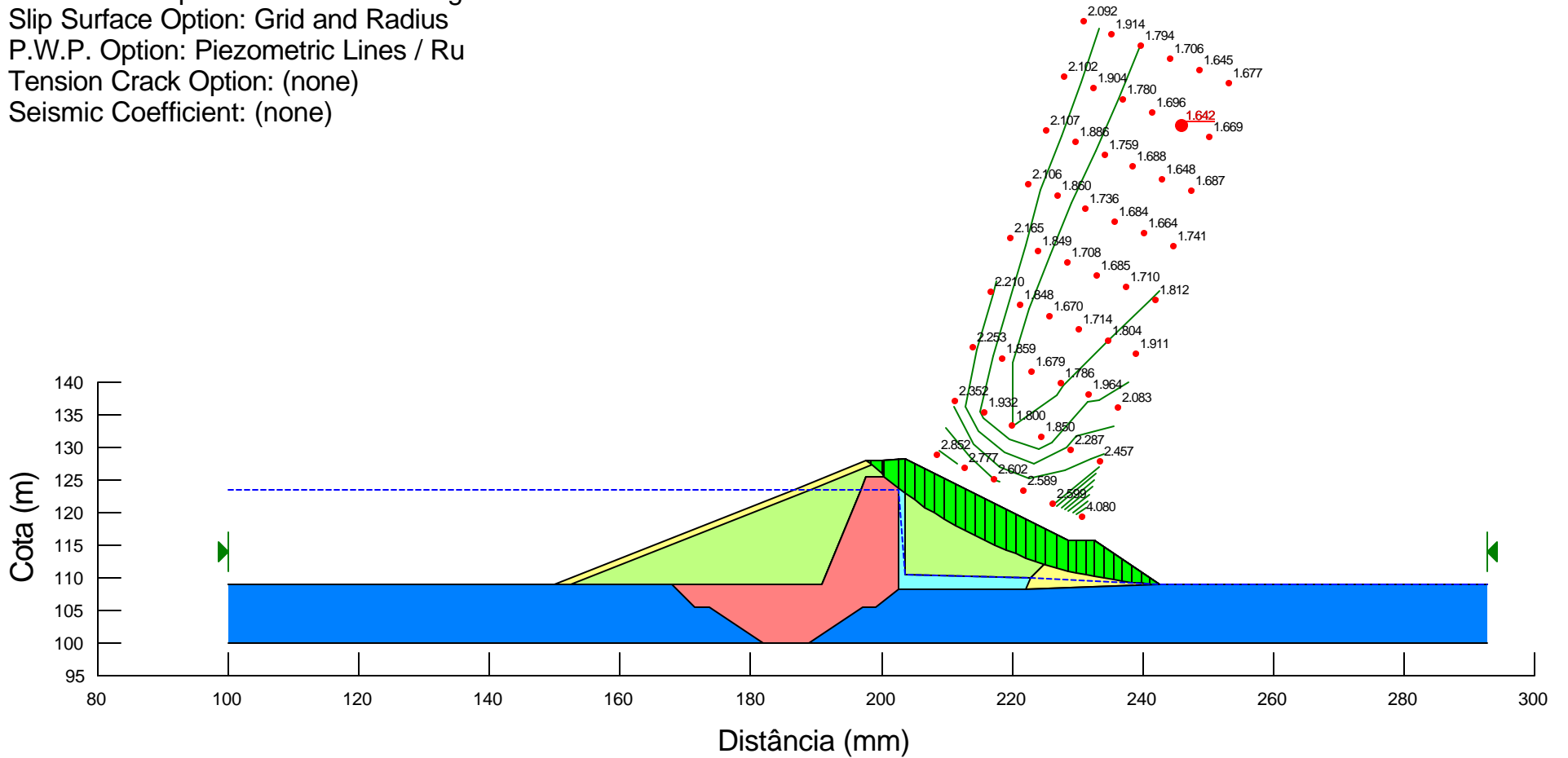


Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCJP.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 09:19:17  
 Analysis Method: Bishop  
 Direction of Slip Movement: Left to Right  
 Slip Surface Option: Grid and Radius  
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
 Tension Crack Option: (none)  
 Seismic Coefficient: (none)



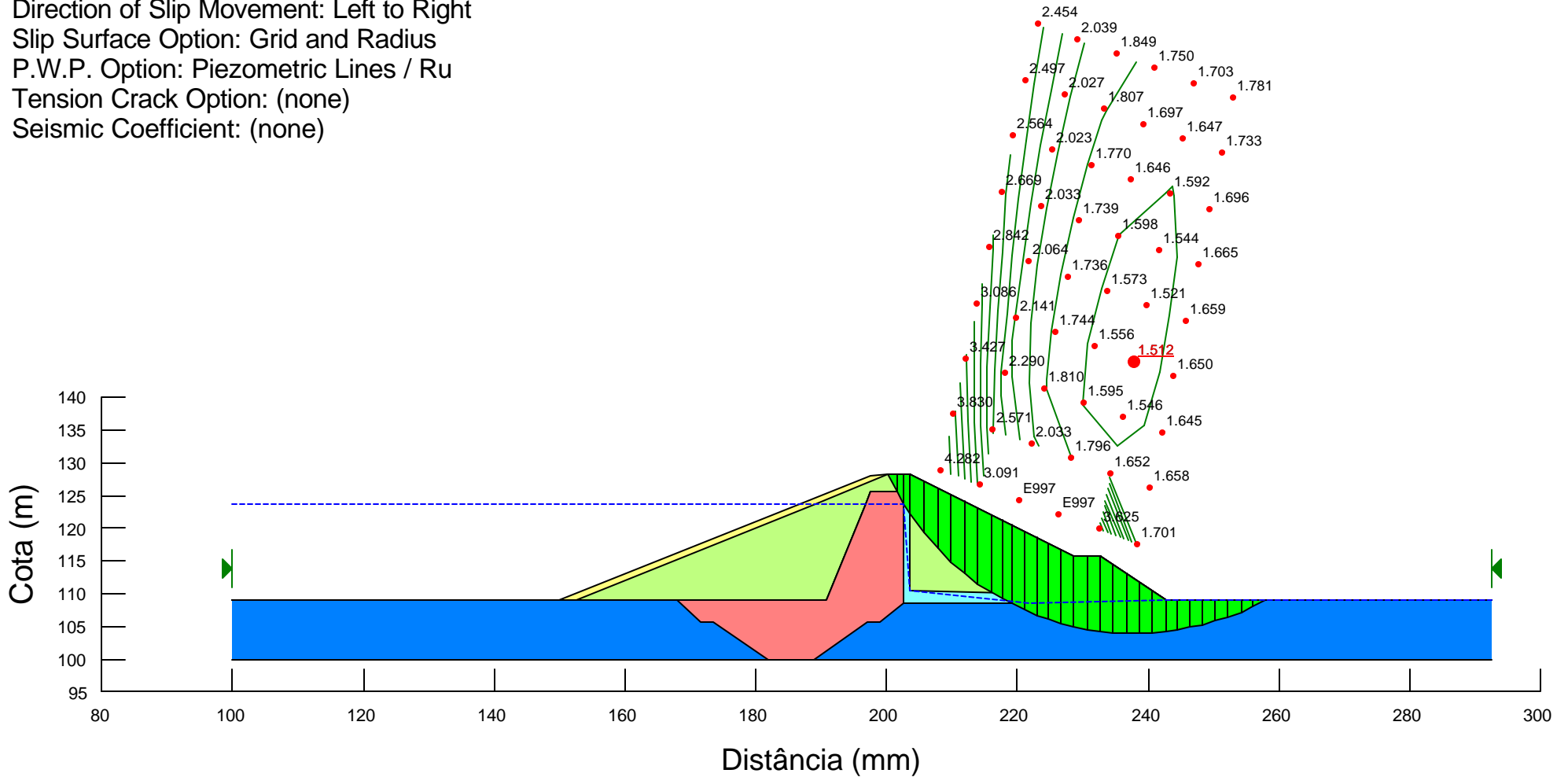
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
 FINAL DE CONSTRUÇÃO  
 TALUDE DE JUSANTE  
 CAMADA PROFUNDA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: Rsrcjs.slp  
 Last Saved Date: 24/04/02  
 Last Saved Time: 20:48:33  
 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)



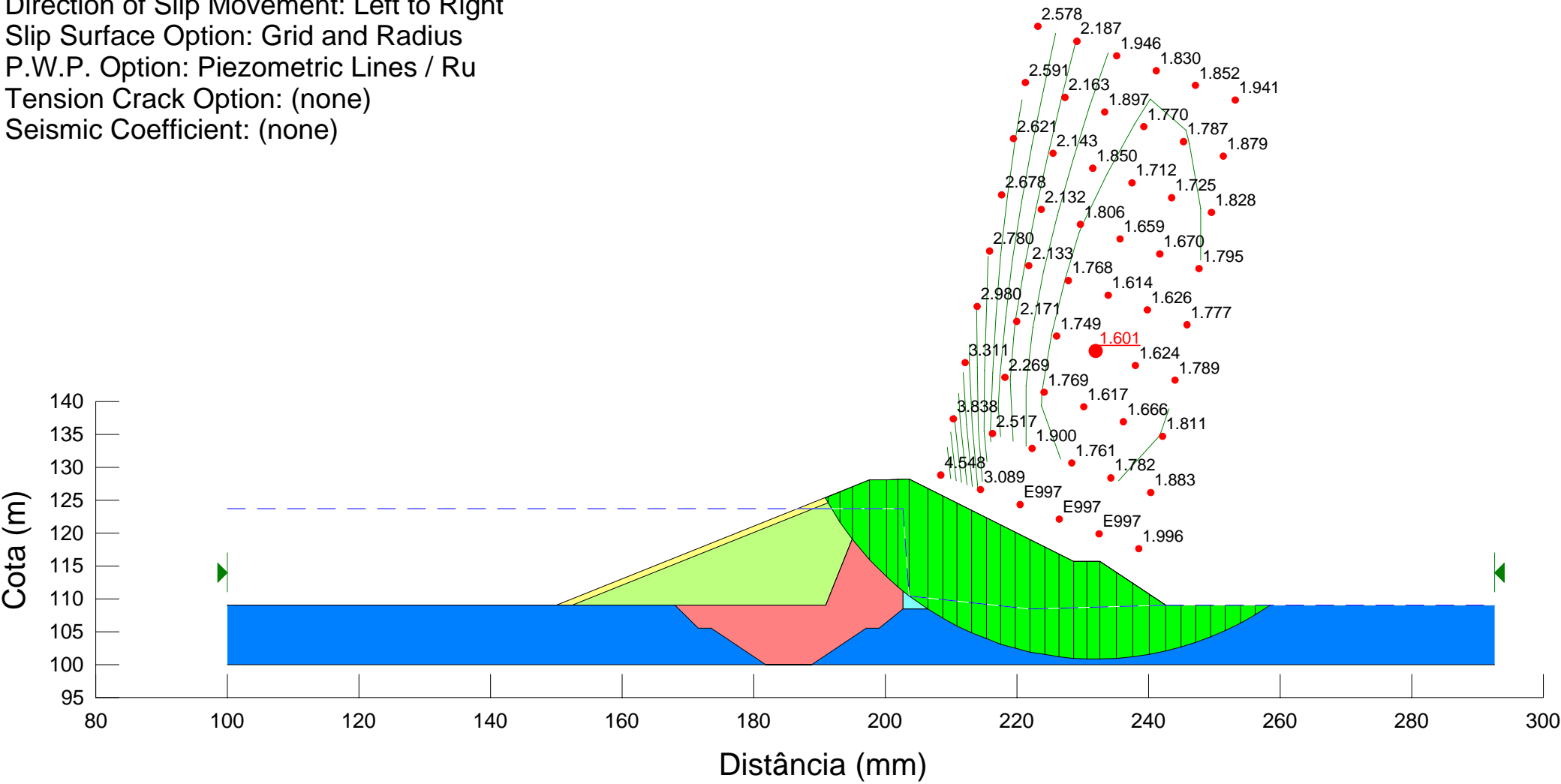
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
 RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSRCJl.slp  
 Last Saved Date: 24/04/02  
 Last Saved Time: 20:35:25  
 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)



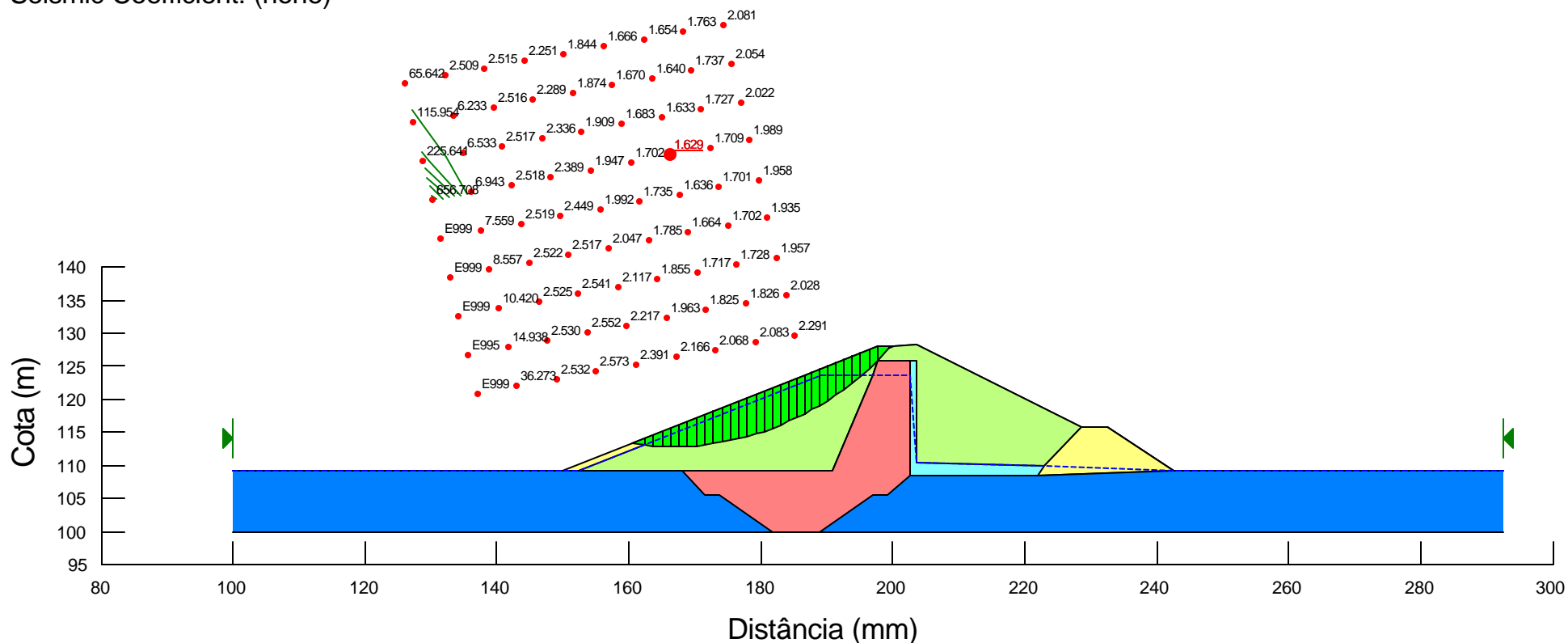
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
 RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: Rsrcjp.slp  
 Last Saved Date: 24/04/02  
 Last Saved Time: 20:42:28  
 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)



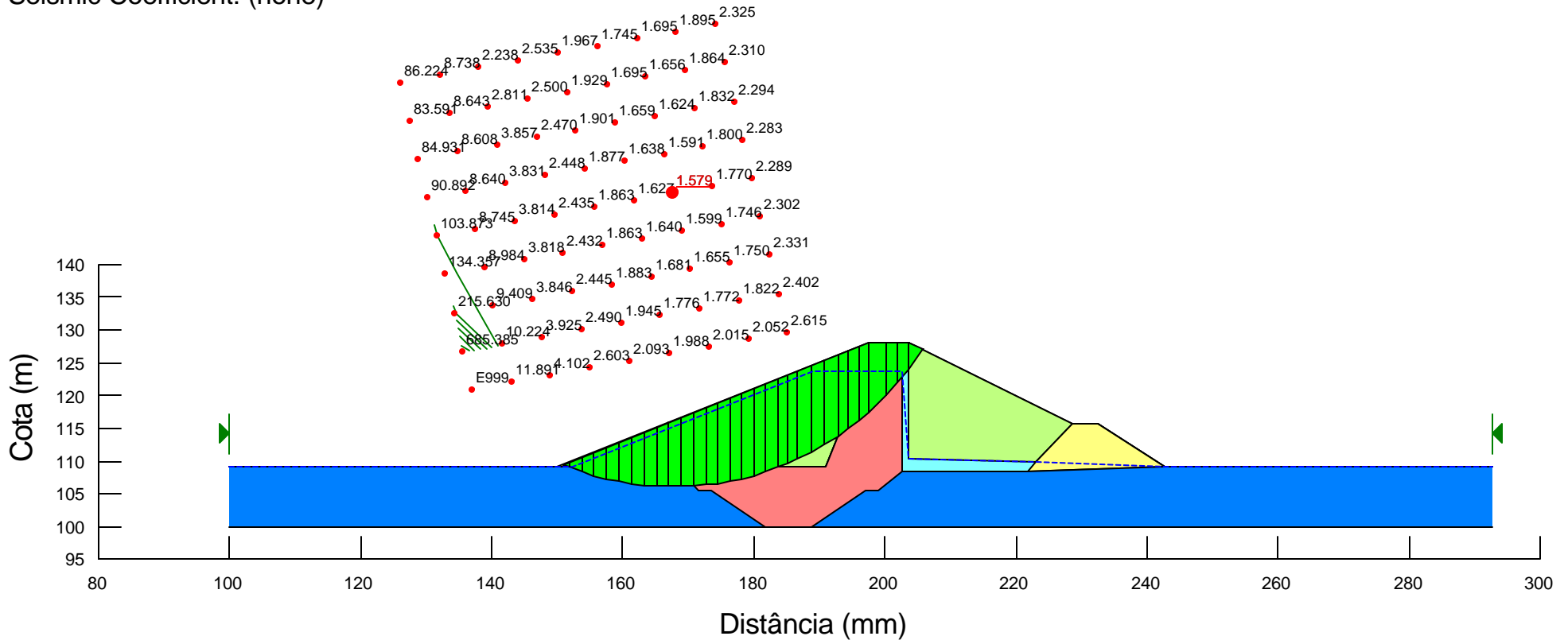
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICO  
 RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA PROFUNDA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSERMS.slp  
 Last Saved Date: 23/04/02  
 Last Saved Time: 18:56:11  
 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)



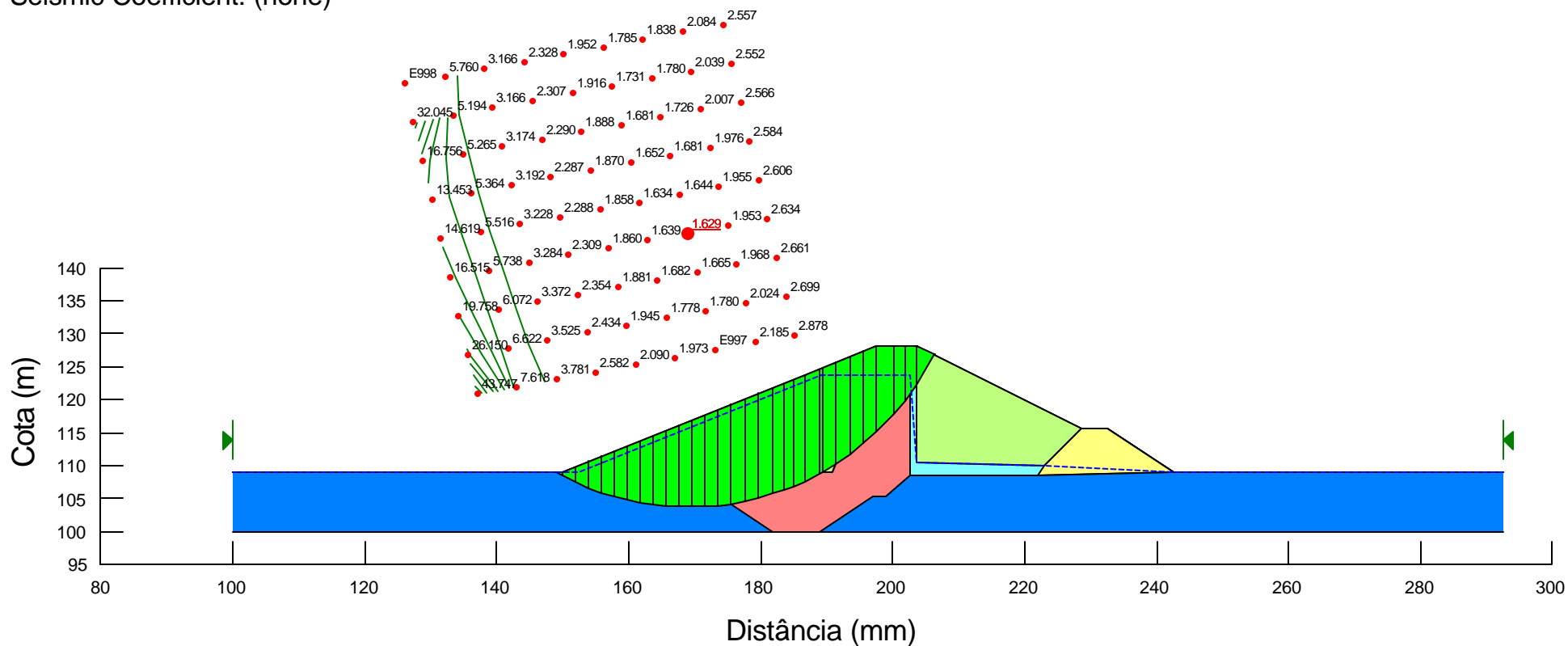
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
 ESVAZIAMENTO RÁPIDO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSERMI.slp  
 Last Saved Date: 23/04/02  
 Last Saved Time: 18:49:07  
 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)



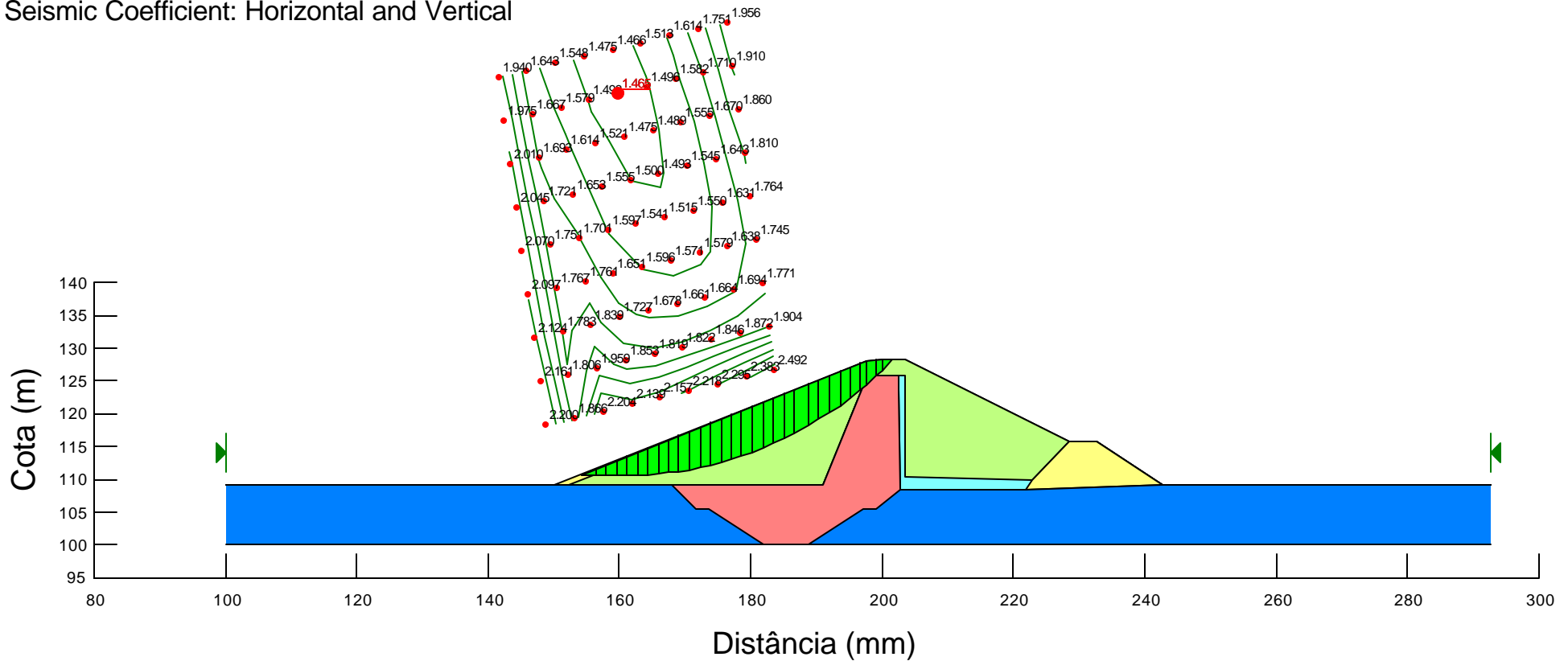
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA  
 ESVAZIAMENTO RÁPIDO - TALUDE DE MONTANTE - CAMADA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSERMP.slp  
 Last Saved Date: 23/04/02  
 Last Saved Time: 18:52:51  
 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

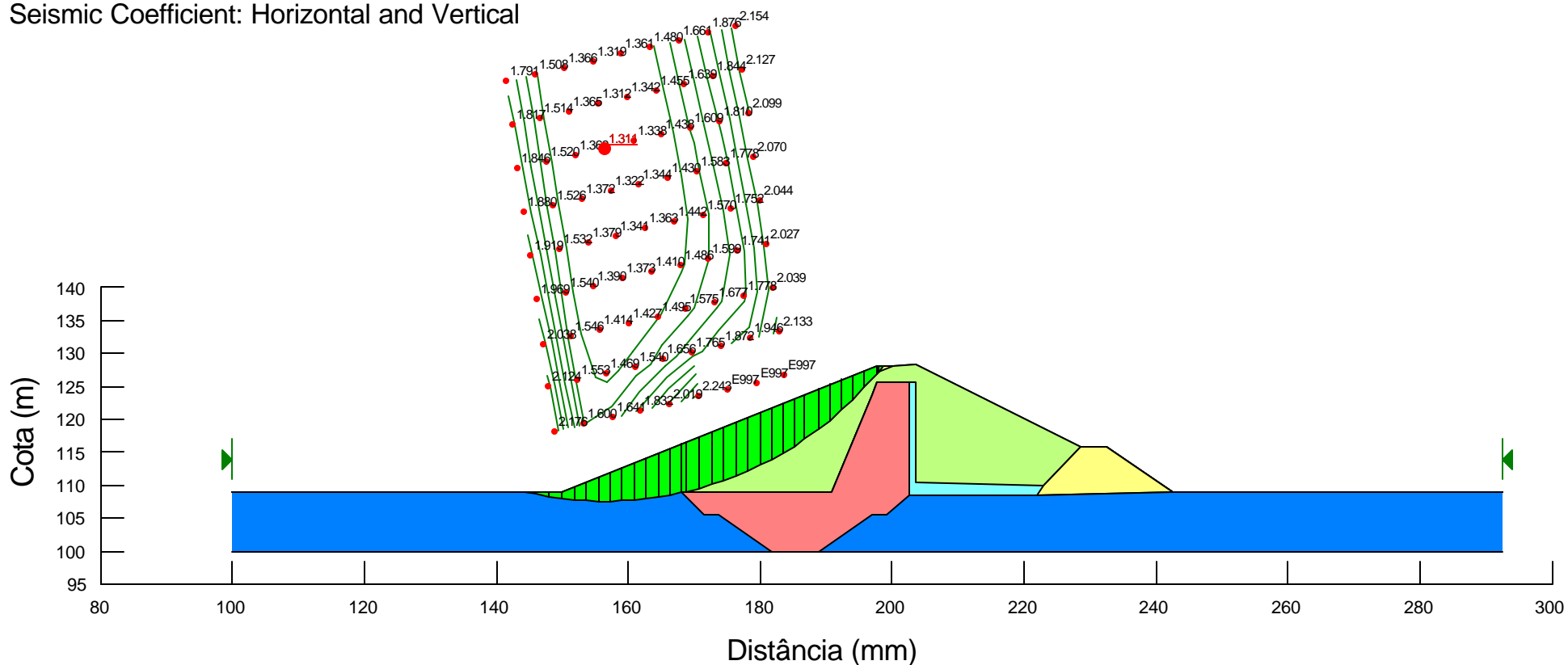
Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCSMS.slp  
 Last Saved Date: 24/04/02  
 Last Saved Time: 19:57:40  
 Analysis Method: Bishop  
 Direction of Slip Movement: Right to Left  
 Slip Surface Option: Grid and Radius  
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
 Tension Crack Option: (none)  
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



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

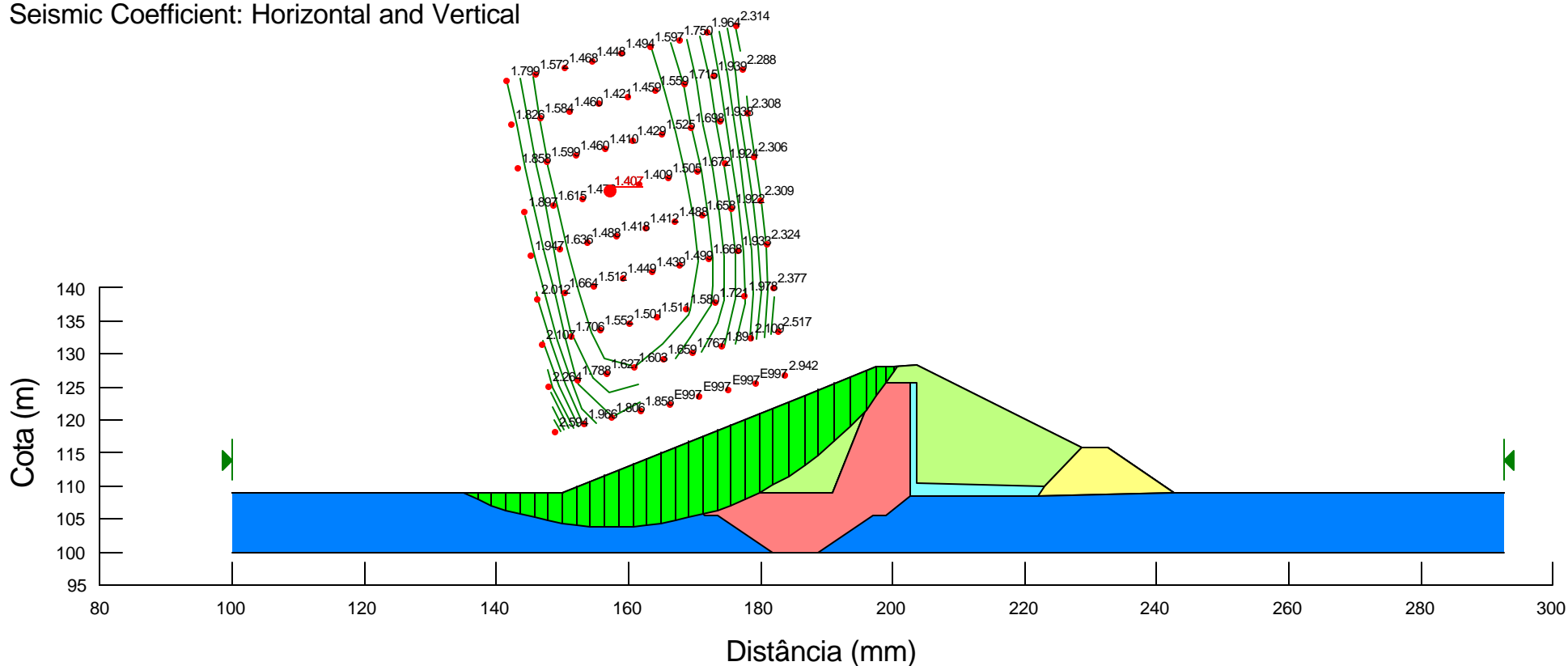


Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCMSI.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 09:48:51  
 Analysis Method: Bishop  
 Direction of Slip Movement: Right to Left  
 Slip Surface Option: Grid and Radius  
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
 Tension Crack Option: (none)  
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



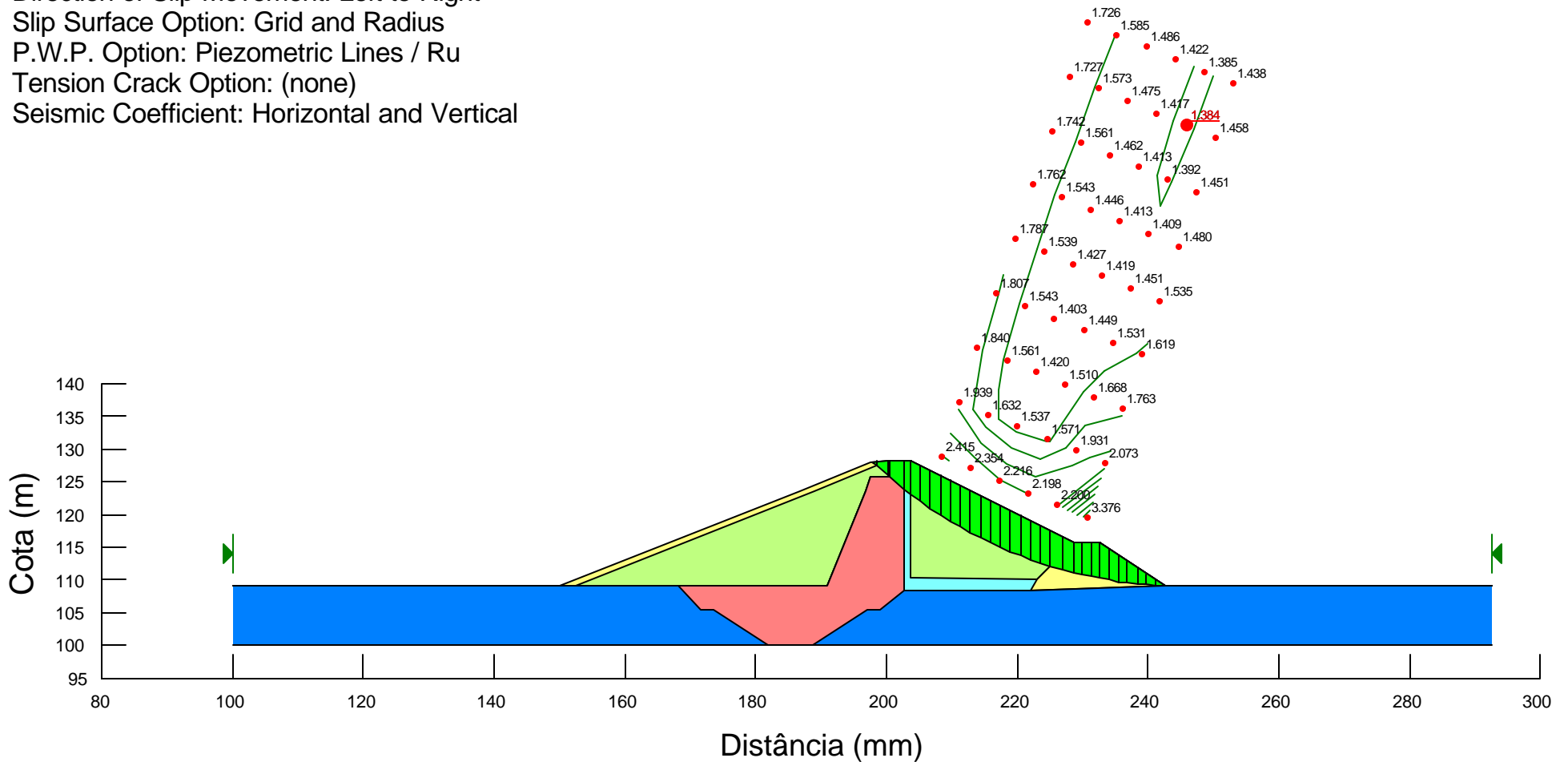
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
 FINAL DE CONSTRUÇÃO  
 TALUDE DE MONTANTE  
 CAMADA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCMSP.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 12:22:27  
 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



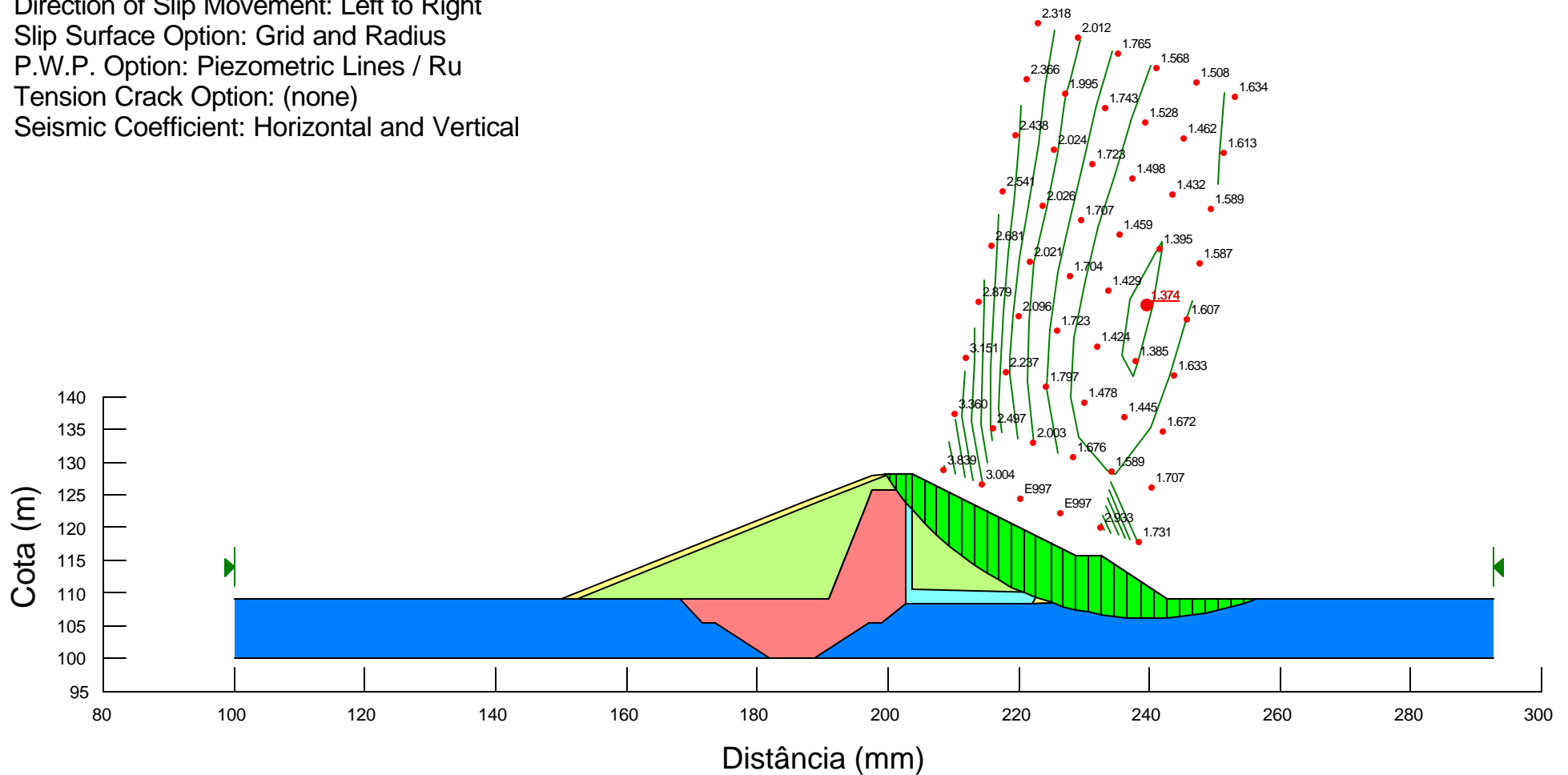
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
 FINAL DE CONSTRUÇÃO  
 TALUDE DE MONTANTE  
 CAMADA PROFUNDA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCSJS.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 14:33:10  
 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



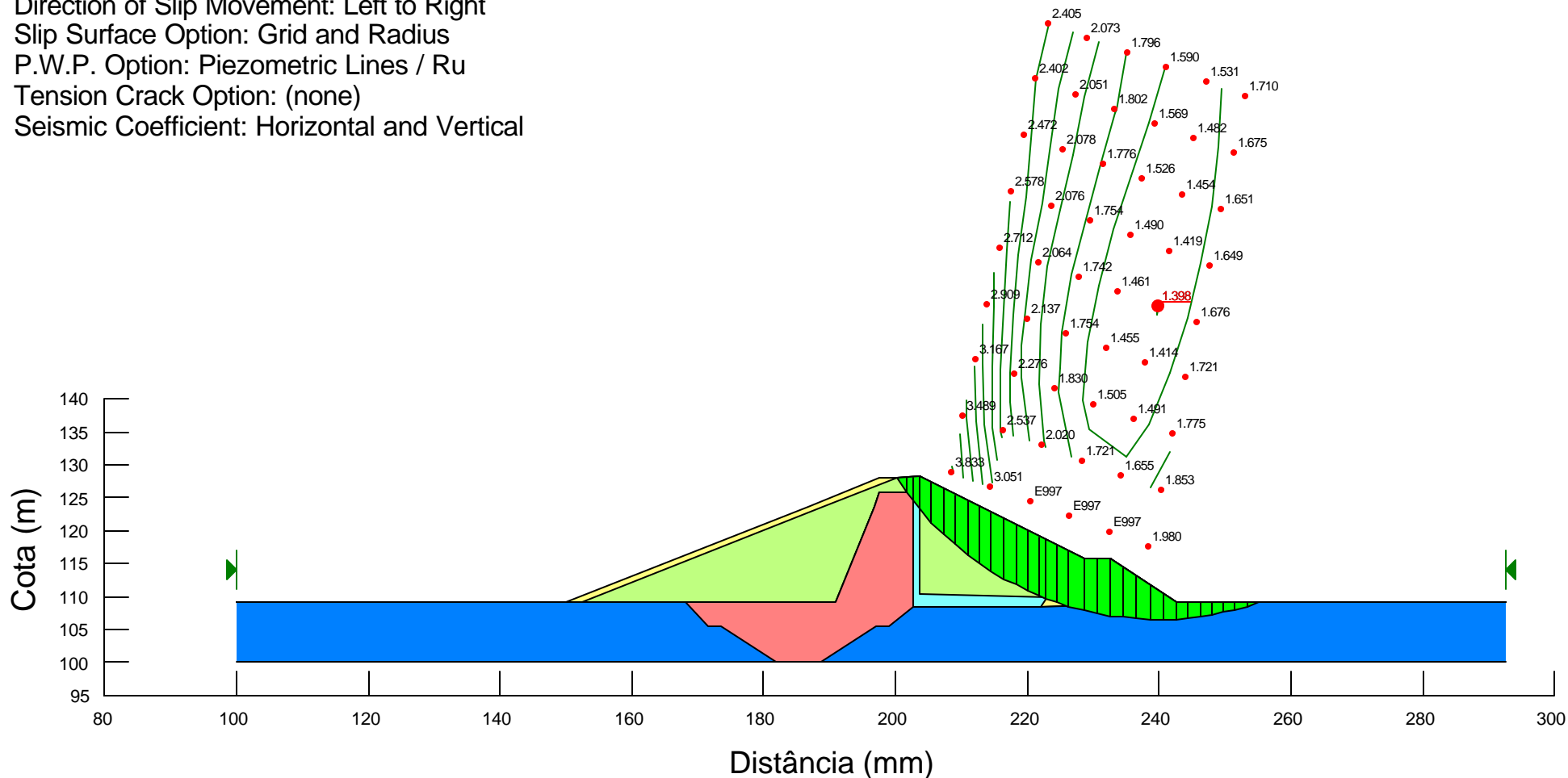
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
 FINAL DE CONSTRUÇÃO  
 TALUDE DE JUSANTE  
 CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCSJI.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 12:24:42  
 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



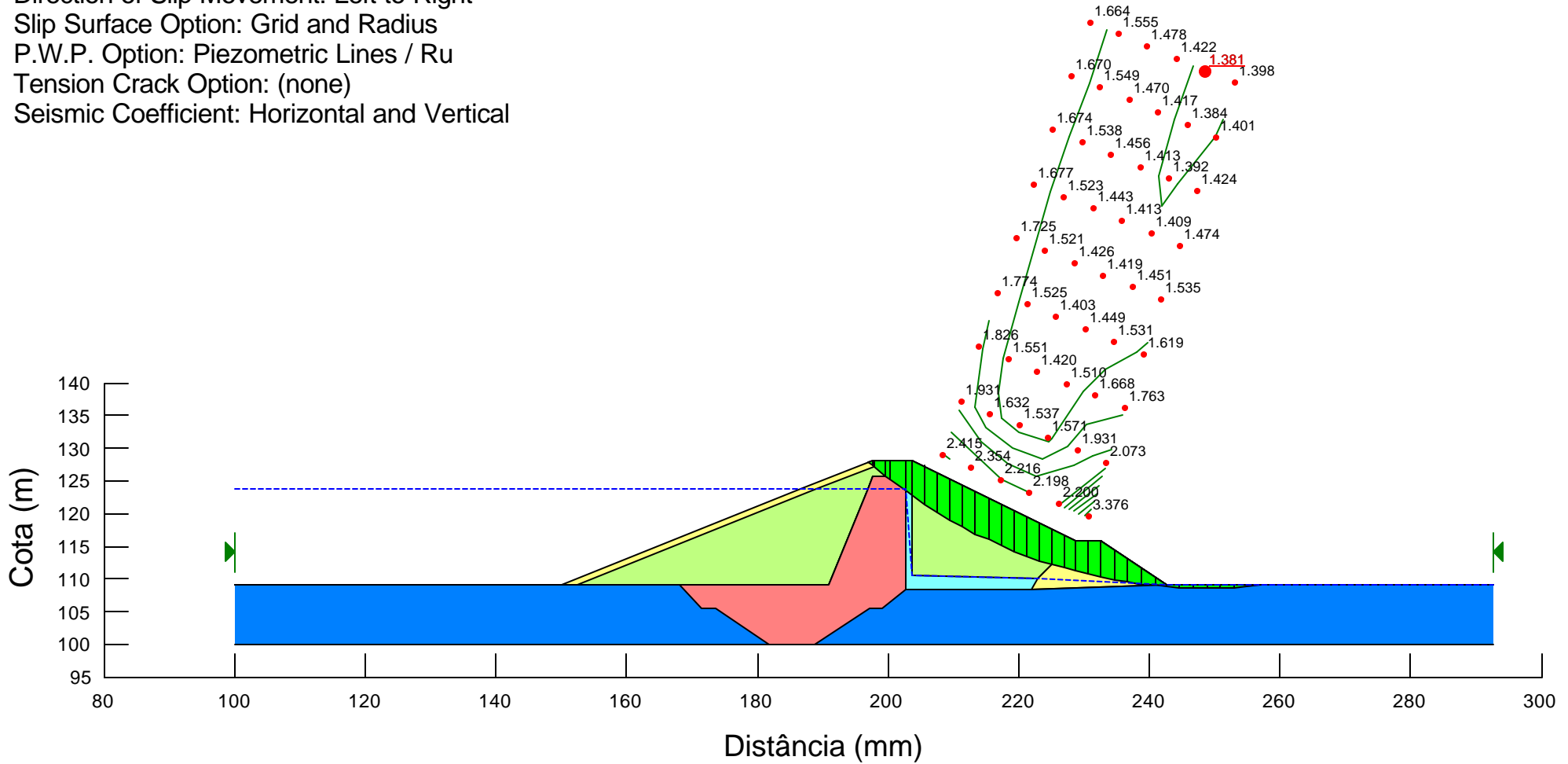
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
 FINAL DE CONSTRUÇÃO  
 TALUDE DE JUSANTE  
 CAMADA INTERMEDIÁRIA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSFCSJP.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 14:30:54  
 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



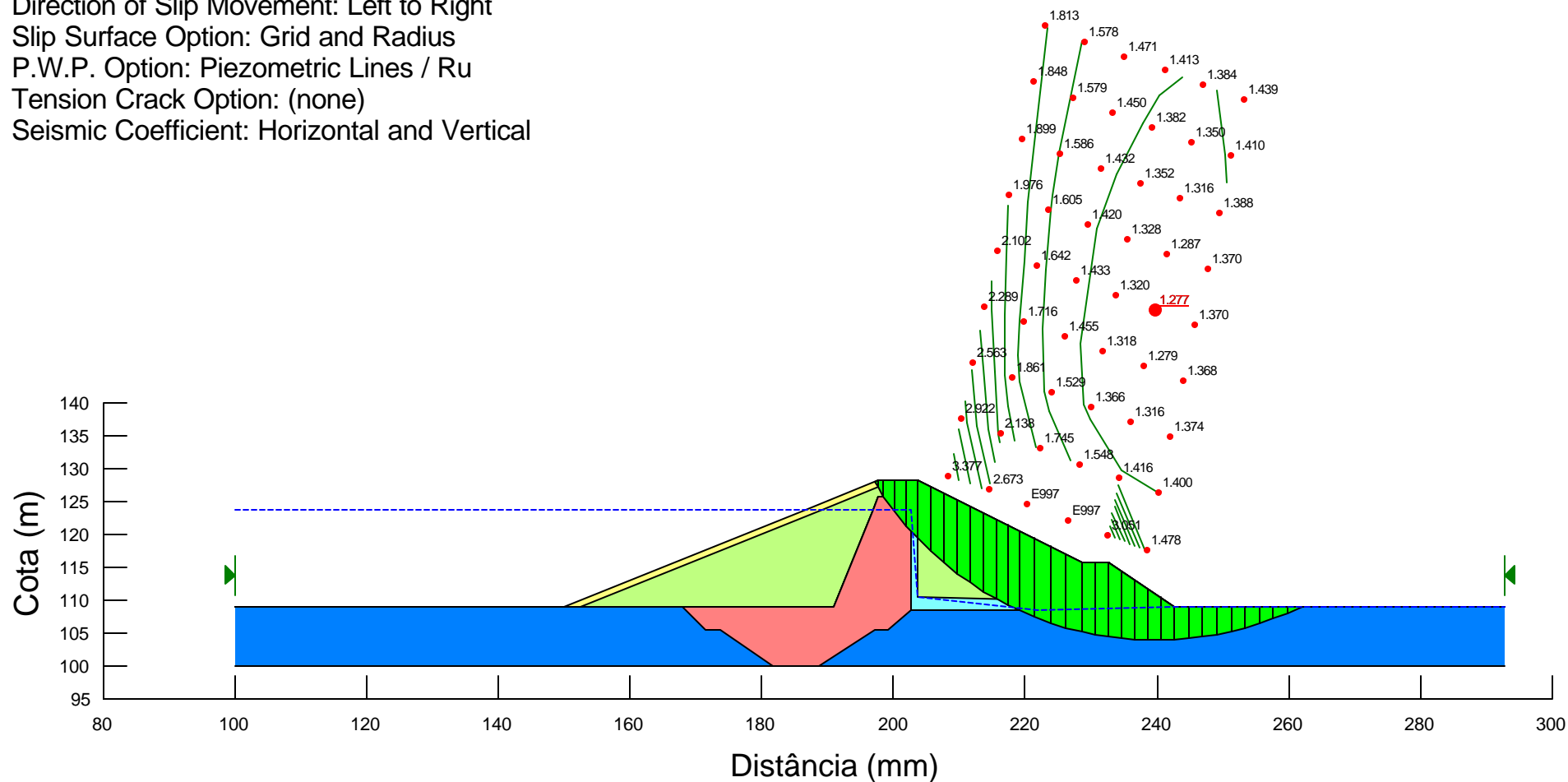
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
 FINAL DE CONSTRUÇÃO  
 TALUDE DE JUSANTE  
 CAMADA PROFUNDA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSRCSJS.slp  
 Last Saved Date: 24/04/02  
 Last Saved Time: 20:55:38  
 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



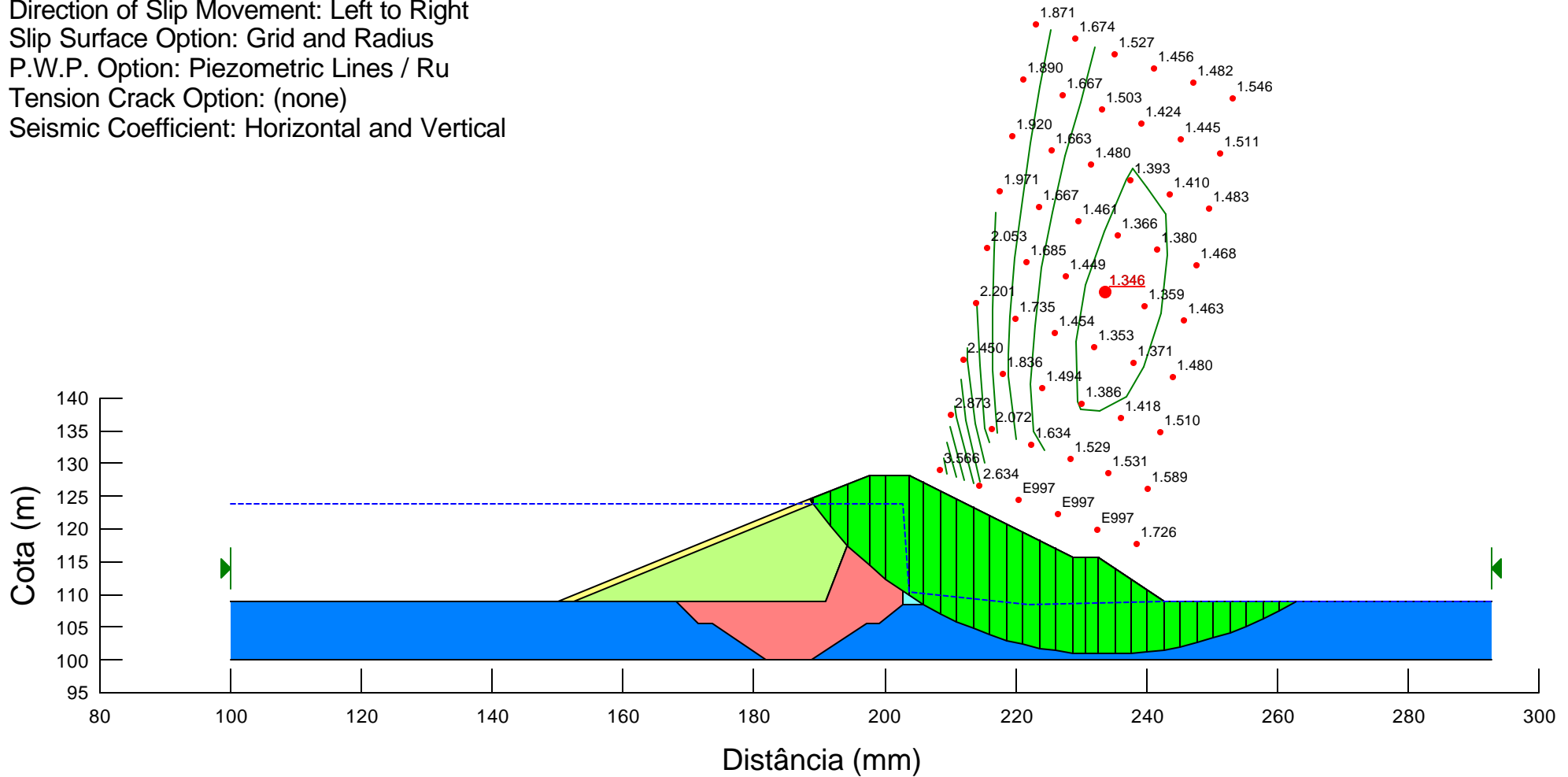
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
 RESERVATÓRIO CHEIO - TALUDE DE JUSANTE - CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSRCSJI.slp  
 Last Saved Date: 24/04/02  
 Last Saved Time: 20:50:38  
 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

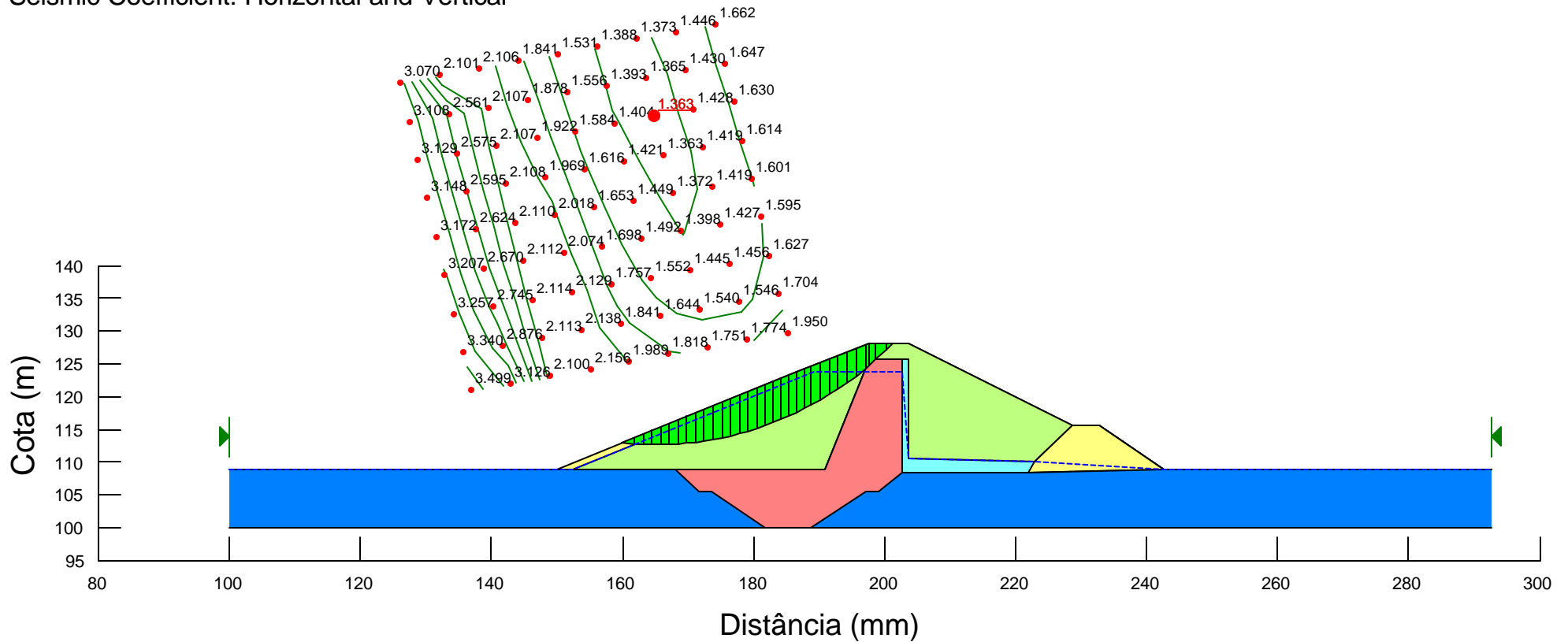
Description: Barragem Riacho da Serra  
File Name: RSRCSJP.slp  
Last Saved Date: 24/04/02  
Last Saved Time: 20:53:01  
Analysis Method: Bishop  
Direction of Slip Movement: Left to Right  
Slip Surface Option: Grid and Radius  
P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
Tension Crack Option: (none)  
Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



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

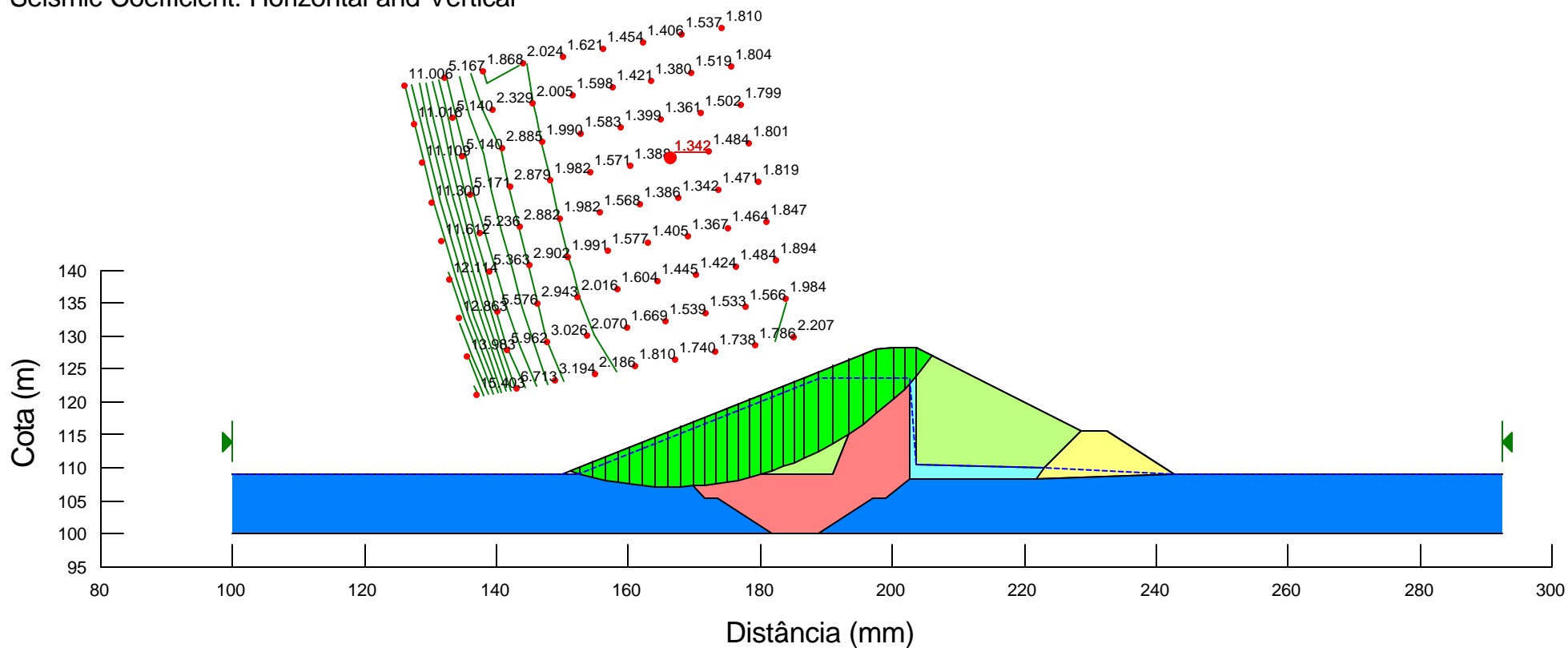


Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSERSMS.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 09:10:53  
 Analysis Method: Bishop  
 Direction of Slip Movement: Right to Left  
 Slip Surface Option: Grid and Radius  
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru  
 Tension Crack Option: (none)  
 Seismic Coefficient: Horizontal and Vertical



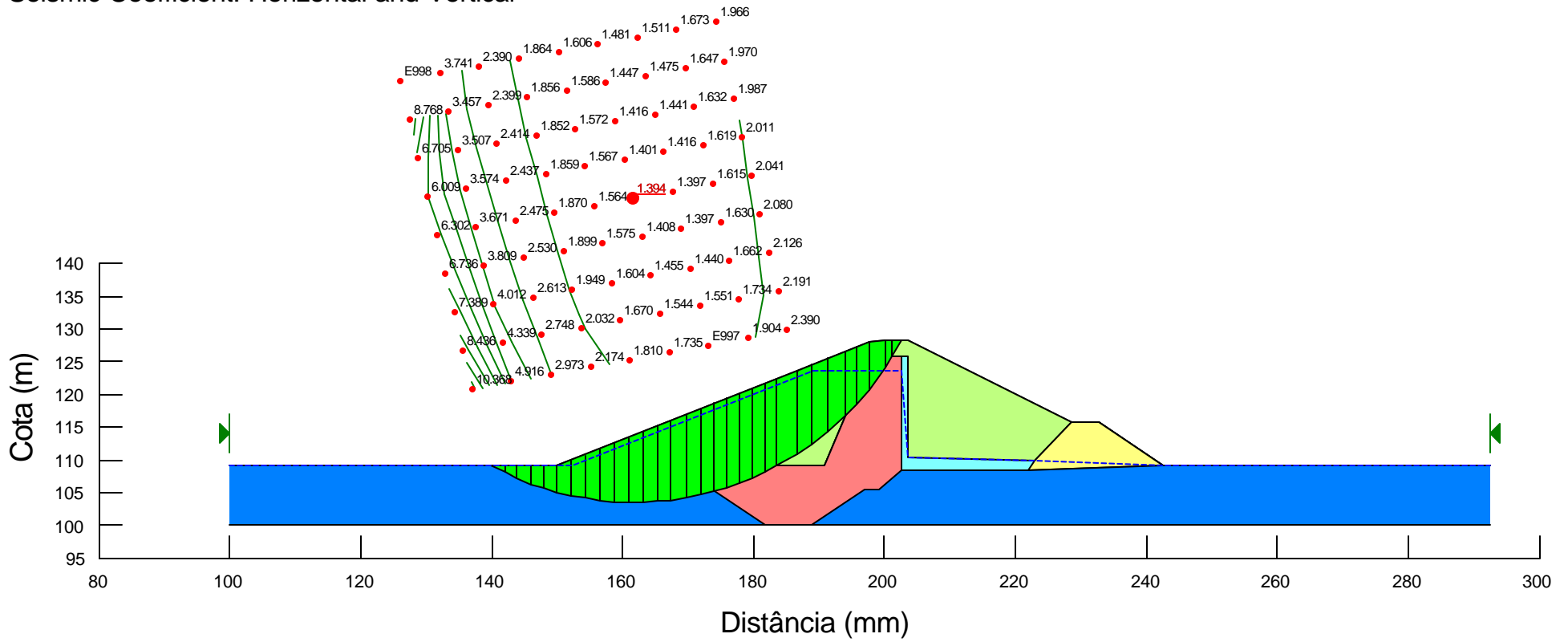
ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
 ESVAZIAMENTO RÁPIDO  
 TALUDE DE MONTANTE  
 CAMADA SUPERFICIAL

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSERSMI.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 09:04:27  
 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 INTERMÉDIÁRIA

Description: Barragem Riacho da Serra  
 File Name: RSERSMP.slp  
 Last Saved Date: 22/04/02  
 Last Saved Time: 09:13:57  
 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: Horizontal and Vertical



ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ABALO SÍSMICO  
 Esvaziamento Rápido  
 Talude de Montante  
 Camada Profunda



MONTGOMERY WATSON



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

---



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

A cota do volume de alerta foi definida em 80,00m acumulando 3,03hm<sup>3</sup> correspondente à cerca 10,8% do volume máximo.



MONTGOMERY WATSON



## 13. TOMADA D'ÁGUA

---



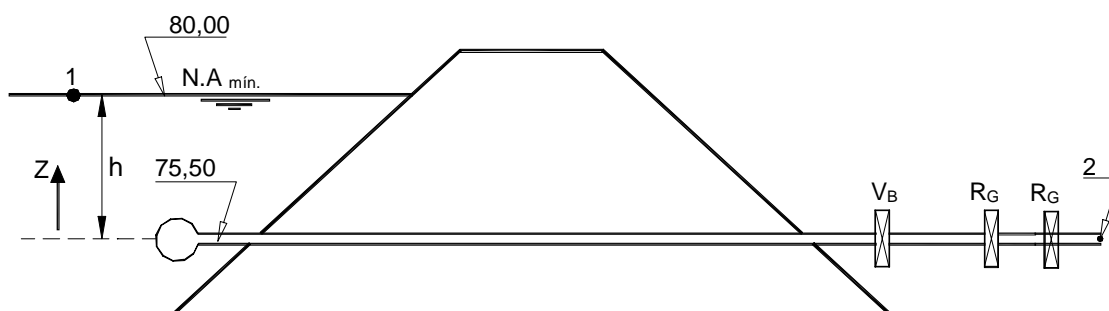
### 13. TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água ficará localizada na estaca 12+10 cujo terreno natural está na cota 79,306m. A tomada d'água terá extensão de 90,00m. A galeria será em tubo de Aço ASTM com chapa 5/6" com diâmetro  $f = 500\text{mm}$ . 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.

#### 13.1. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA GALERIA



Considerando a válvula borboleta e os registros de gaveta totalmente abertos. Considerando o nível mínimo de operação, cota 80,00m, e a vazão a ser regularizada de  $0,370\text{m}^3/\text{s}$  com 90% dimensiona-se o tubo para passar essa vazão com velocidade de  $2,0\text{m/s}$ .



$$Q = V \cdot S$$

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

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

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

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,37}{\pi \times 2,0}} = 0,485\text{m}$$

Será adotado  $D=500\text{mm}$ .

A velocidade para a vazão será :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,370}{0,196} \cong 1,88\text{m/s}$$

Determinação das vazões e velocidade para as cotas de 80,00m a 88,00m com a válvula borboleta e o registro de gaveta totalmente abertos.

- Para a cota mínima 80,00m.

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:

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

$$V_1 \cong 0$$





$h_f$  perda de carga por fricção

$h_L$  perda de carga localizada.

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

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

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

$K_i$  coeficiente de perda de carga localizada.

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

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

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

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

$$K_5 = \text{Saída} = 1,0$$

$$h_f = h_f + h_L$$

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

$$h_f = f \cdot \frac{90}{0,50} \cdot \frac{V_2^2}{19,62} + 5,21 \times \frac{V_2^2}{19,62}$$

$$h_f = 9,17 \cdot f \cdot V_2^2 + 0,26 \cdot V_2^2$$

Substituindo na equação de Bernoulli, obtém:



$$h = \frac{V_2^2}{2g} + 9,17.f.V_2^2 + 0,26V_2^2$$

$$h = 0,051.V_2^2 + (9,17f + 0,26).V_2^2$$

$$V_2 = \left[ \frac{h}{(9,17f + 0,31)} \right]^{1/2}$$

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.

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

Onde:

Re = Número de Reynold

$\nu$  = Viscosidade Cinemática

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  $h = 80,00 - 75,50 = 4,50\text{m}$ , adotado  $f = 0,03$  tem-se:

$$V_2 = \left[ \frac{4,50}{9,17 \times 0,03 + 0,31} \right]^{1/2} = 2,77\text{m/s}$$

Para  $V_2 = 2,77 \text{ m/s}$



$$Re = \frac{2,77 \times 0,50}{8,07 \times 10^{-7}} = 1,7 \times 10^6$$

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

Do ábaco de Moody tira-se:

$$f = 0,0168m$$

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

$$V_2 = \left[ \frac{4,50}{9,17 \times 0,0168 + 0,31} \right]^{1/2} = 3,11$$

$$Re = \frac{3,11 \times 0,50}{8,07 \times 10^{-7}} = 1,9 \times 10^6$$

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

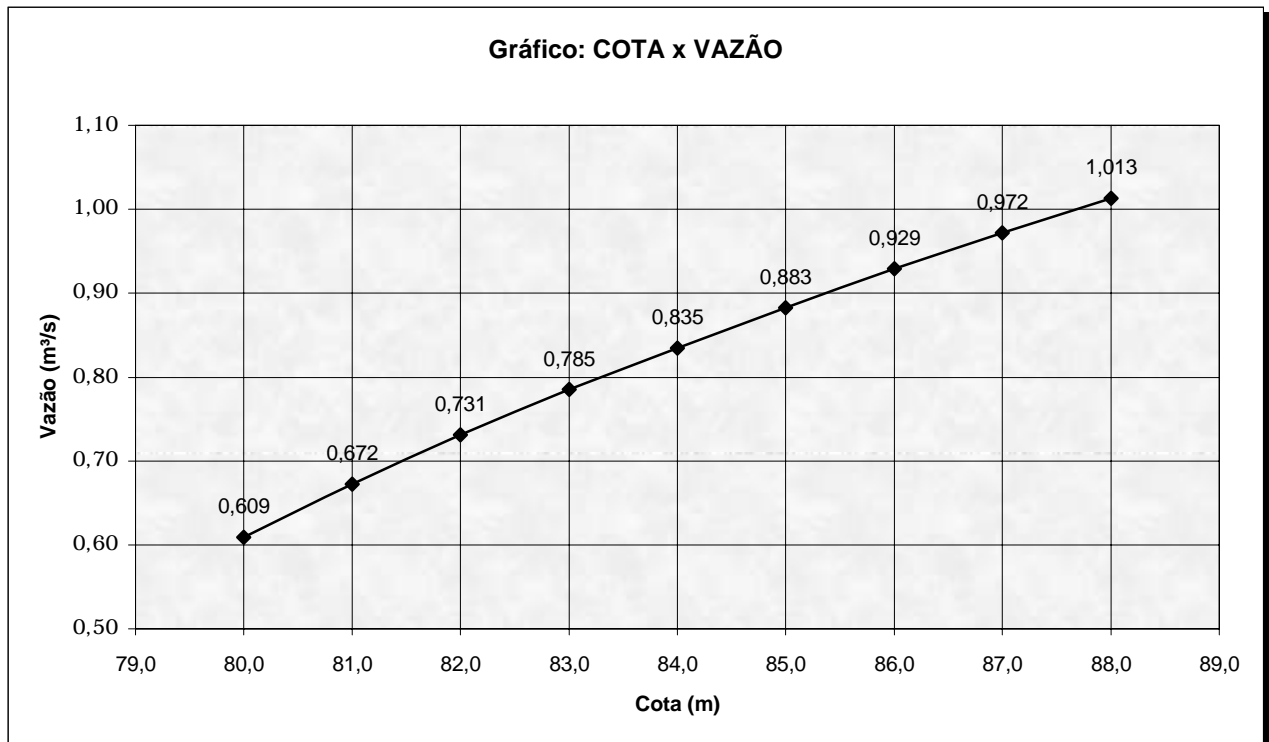
A vazão para a cota 80,00 é  $Q = 3,11 \times 0,196 = 0,609 \text{ m}^3/\text{s}$

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)
80,00	0,609	3,11
81,00	0,672	3,43
82,00	0,731	3,72
83,00	0,785	4,00
84,00	0,838	4,26
85,00	0,883	4,50
86,00	0,929	4,74
87,00	0,972	4,96
88,00	1,013	5,17

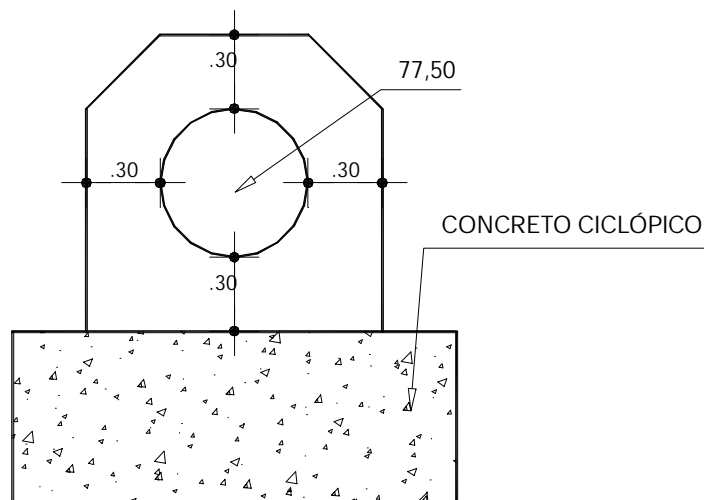


Na figura a seguir é apresentada a curva de operação Cota x Vazão.



### 13.2. DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL

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



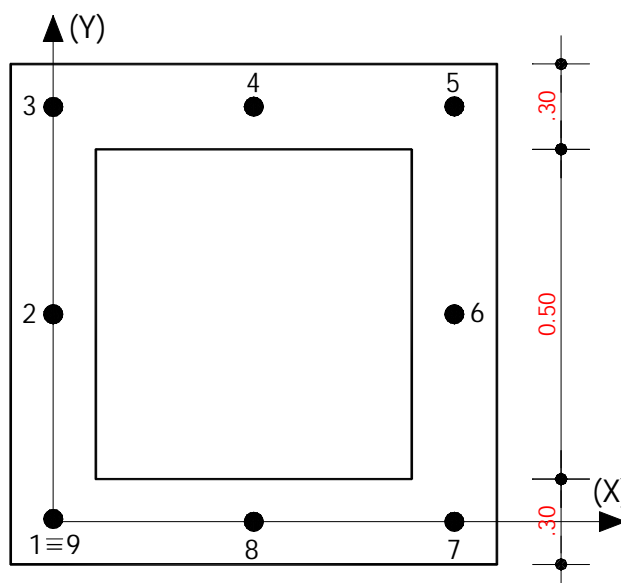


A galeria está submetida a tensão vertical  $\sigma_v = 35,00\text{tf/m}^2$ .

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



## 14. ANÁLISE DOS RECALQUES

---



## 14. ANÁLISE DOS RECALQUES

Os materiais que formam o corpo da 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:

- a) Dividiu-se o maciço, em sua seção máxima, em lamelas de 2,0m de espessura.
- b) Para cada lamela determinou-se a tensão vertical no meio da camada .
- c) 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.

$\Delta H_i$  = 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 as jazidas J-02, J-03 e J-04, que formarão o núcleo e fundação da barragem, o peso específico aparente seco máxima obtido do ensaio de compactação é de 1,853tf/m<sup>3</sup> e a umidade ótima correspondente é de 14,2%. O peso úmido será de 2,11tf/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 14.1 – 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> )			
	J-02	J-03	J-04	Média
1,0	11.000	14.800	12.900	12.900
2,0	14.700	19.100	16.300	16.700
4,0	17.800	20.700	19.300	19.266

Assim sendo:

FATIA PLANO MÉDIO (m)	ESPESSURA (m)	TENSÃO MÉDIA (kN/m <sup>2</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	Si (mm)
0,5	1,0	10,55	12.900	0,81
2,0	2,00	42,20	12.900	6,54
4,00	2,00	84,40	12.900	13,08
6,0	2,00	126,60	16.700	15,16





FATIA PLANO MÉDIO (m)	ESPESSURA (m)	TENSÃO MÉDIA (kN/m <sup>2</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )	Si (mm)
8,0	2,00	168,80	16.700	20,21
10,0	2,00	211,00	16.700	25,26
12,0	2,00	253,20	19.266	26,28
14,0	2,00	295,40	19.266	30,66
16,0	2,00	337,60	19.266	35,04
18,00	2,0	379,80	19.266	39,42

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**

