



**PROJETO BÁSICO**  
**DIQUE**  
**PRÉ-DIMENSIONAMENTO – MEMÓRIA DE CÁLCULO**

0	Emissão Final	TSP	EL	MAI/16
Nº	Descrição	Prep.	Aprov.	Data
REVISÕES				
				
<b>PROJETO BÁSICO</b>				
				

**UHE ITAOCARA I**

Preparado	TSP	Aprov.	Marcelo K. Turqueti	Nº VLB	Rev.
Conferido	DCN		Gerente do Projeto	1530-IT-B-MC-B20-0002	0
Visto	EL	Aprov.	José H. R. Lopes	Nº do Cliente	Rev.
Data	MAI/16		Resp. Técnico MG-12545/D		

  
**JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES**  
 Resp. Técnico MG-12545/D

**PROJETO BÁSICO**  
**DIQUE**  
**PRÉ-DIMENSIONAMENTO – MEMÓRIA DE CÁLCULO**

**ÍNDICE**

1. INTRODUÇÃO .....	3
2. DOCUMENTO DE REFERÊNCIA .....	3
3. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS DOS MATERIAIS DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO DA BARRAGEM.....	3
4. ANÁLISE DE ESTABILIDADE E PERCOLAÇÃO .....	6
4.1. SEÇÕES ANALISADAS .....	6
4.2. PARÂMETROS ADOTADOS .....	9
4.3. METODOLOGIA DE ANÁLISE.....	9
4.3. ANÁLISES EFETUADAS .....	11
5. RESULTADO DAS ANÁLISES DE PERCOLAÇÃO .....	12
5.1. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNO.....	12
6. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE .....	14
7. CONCLUSÃO .....	20
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	20

## PROJETO BÁSICO

### DIQUE

#### PRÉ-DIMENSIONAMENTO – MEMÓRIA DE CÁLCULO

#### 1. INTRODUÇÃO

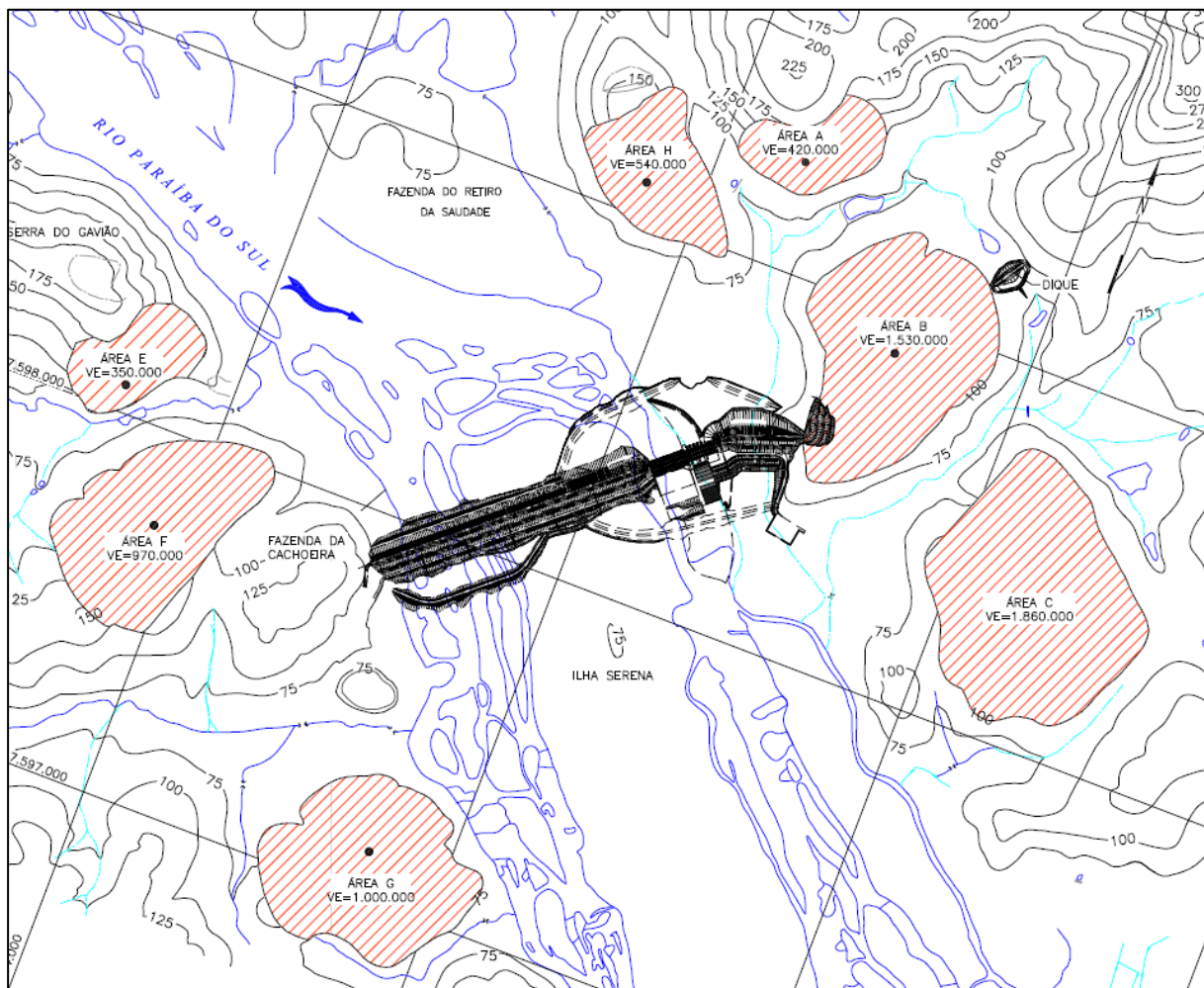
Este documento tem como objetivo apresentar os estudos de estabilidade e percolação dos taludes do aterro do Dique da UHE Itaocara I, localizada no rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro.

#### 2. DOCUMENTO DE REFERÊNCIA

- 1530-IT-B-DE-B11-0010 – PROJETO BÁSICO – DIQUE – ARRANJO GERAL – PLANTA, SEÇÕES E DETALHE.

#### 3. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS DOS MATERIAIS DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO DA BARRAGEM

Na etapa do Projeto Básico elaborado pela SPEC foram identificadas 07 (sete) Áreas de Empréstimo para o solo compactado do Dique, sendo 04 (quatro) na Margem Esquerda e 03 (três) na Margem Direita, com volume total estimado de 6.670.000 m<sup>3</sup>, Figura 3.1.



**Figura 3.1 – Áreas de Empréstimo Investigadas no Projeto Básico**

Nas Áreas de Empréstimo foram executadas 24 (vinte e quatro) sondagens a trado e 19 (dezenove) poços de inspeção, nos quais foram coletadas amostras para realização de ensaios de caracterização do material.

Foram realizados ensaios de granulometria conjunta, limites de consistência (Atterberg) e compactação Proctor Normal. Os resultados são apresentados na Tabela 3.1 e Figuras 3.2 e 3.3.

O material obtido pode ser classificado como argilo-arenoso e areno-argiloso.

Tabela 3.1 – Resumo dos ensaios das amostras das Áreas de Empréstimo

Local	Área	Furo	N°	Prof.	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)			Pedr. (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	W (%)	Comp. Proctor Normal		k (cm/s)
							Fina	Média	Grossa							$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	W <sub>ot</sub> (%)	
Área de Empréstimo Margem Esquerda	AE-A	STA-01	1	0,35 a 1,5m 1,5 a 4,0m	38,0	18,4	12,5	19,4	9,8	2,0	49,2	23,0	26,2	25,51	14,5 21,7	14,260	23,3	4,19E-07
		STA-02	2	0,3 a 4,2m 4,2 a 5,5m	44,7	19,9	16,2	14,0	4,4	0,7	50,3	24,8	25,5	25,31	23,7 24,7	14,210	26,9	-
	AE-B	STB-01	3	0,3 a 5,0m	36,5	21,6	17,5	16,5	7,8	0,2	42,0	22,5	19,5	26,19	19,2	15,310	20,3	-
		STB-02	4	0,3 a 1,5m 1,5 a 5,0m	46,2	24,4	11,6	12,5	4,5	0,8	53,3	23,3	30,0	25,69	22,4 23,9	14,740	20,1	2,96E-07
	PEB-04	5	0,3 a 2,0m	21,3	38,5	15,3	17,5	6,5	0,9	41,1	24,6	16,5	25,55	20,3	15,390	17,8	-	
		6	2,0 a 5,0m	39,4	19,2	8,0	19,2	13,1	1,1	46,6	23,0	23,6	26,24	18,0	15,340	18,0	-	
	STC-01	7	0,3 a 1,2m	39,4	24,4	17,3	12,1	6,1	0,8	45,2	23,8	21,4	26,03	19,7	14,410	22,8	-	
		8	1,2 a 5,0m	44,1	18,6	11,3	14,4	10,9	0,7	47,6	20,6	27,0	25,69	21,2	15,470	19,1	-	
	STC-02	9	0,3 a 4,5m	32,3	23,7	22,7	16,8	3,9	0,6	38,8	22,6	16,2	25,80	-	15,340	20,3	-	
		10	0,3 a 2,5m	25,8	28,5	19,7	15,1	10,6	0,2	45,0	29,1	15,9	25,50	20,5	15,240	20,2	-	
	PEC-05	11	2,5 a 5,0m	44,2	16,2	9,0	15,7	14,5	0,4	44,5	17,8	26,7	26,43	21,9	15,630	18,3	-	
12		0,3 a 4,5m 4,5 a 5,5m	41,8	14,7	25,9	15,5	1,5	0,6	37,6	20,2	17,4	26,52	13,7 17,5	15,400	19,7	-		
STH-03	13	0,2 a 5,0m	49,0	20,2	12,7	12,8	4,3	1,0	52,2	27,2	25,0	25,75	21,4	13,910	25,1	-		
	14	0,3 a 3,8m 3,8 a 5,0m	37,8	20,8	12,5	15,4	11,8	1,6	49,8	20,3	29,5	26,22	21,8 19,9	15,080	22,1	-		
Área de Empréstimo Margem Direita	AE-E	STF-01	15	0,3 a 4,0m 4,0 a 5,0m	26,8	27,1	20,8	16,6	8,5	0,2	63,8	25,7	38,1	25,51	20,2 19,8	15,200	21,1	-
		STF-03	16	0,35 a 2,3m 2,3 a 5,0m	31,8	21,9	16,4	14,6	9,7	5,5	46,4	23,6	22,8	26,07	20,1 18,1	15,200	21,3	-
	AE-G	STG-02	17	2,0 a 3,0m	38,0	25,9	21,4	9,3	5,1	0,3	51,4	24,9	26,5	25,65	-	14,090	23,7	-

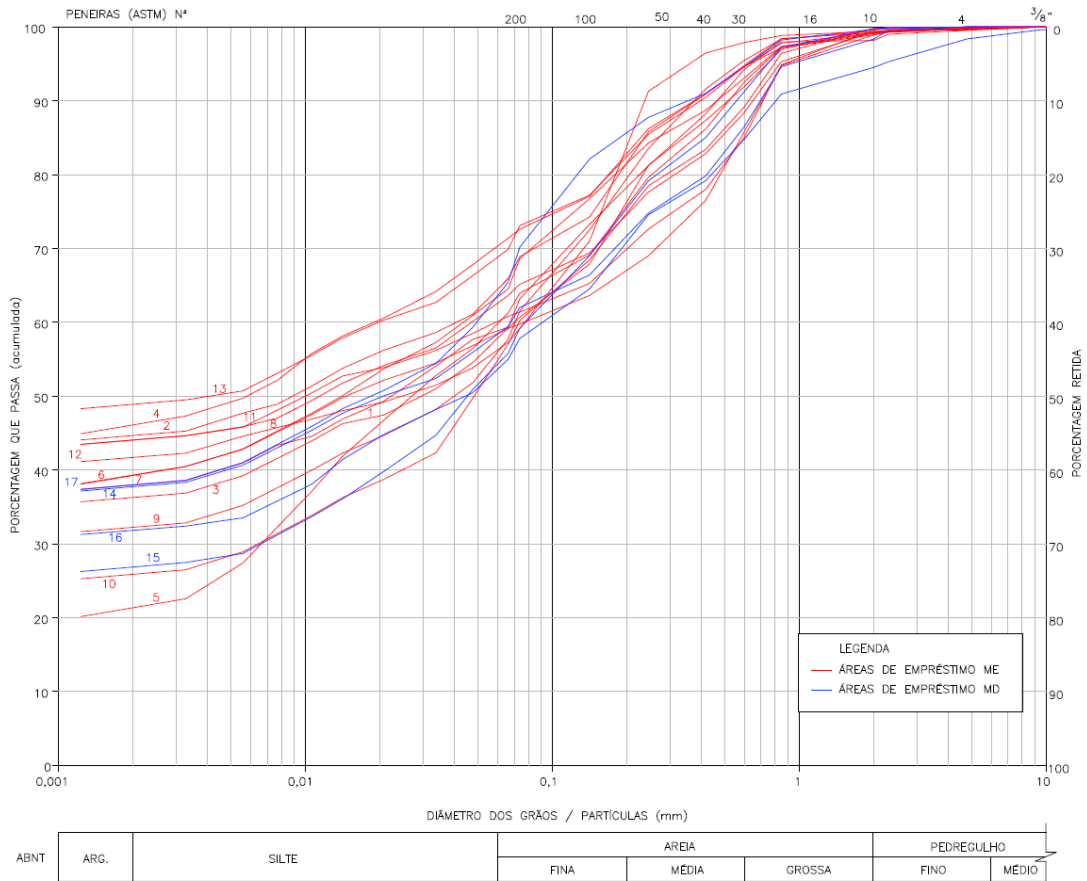
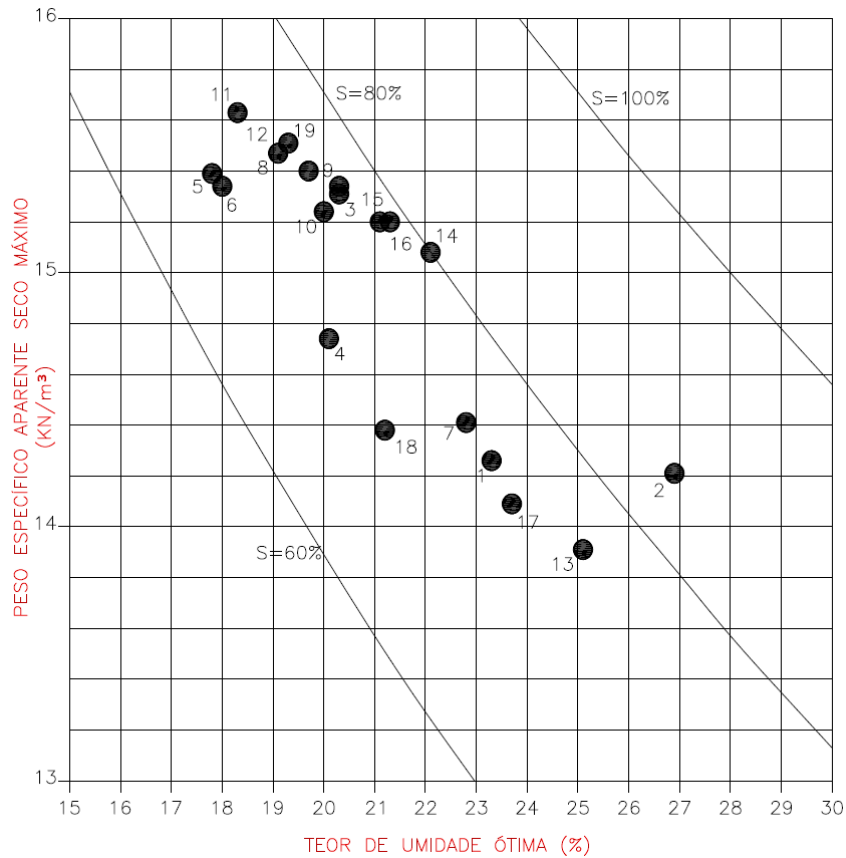


Figura 3.2 – Curvas Granulométricas das Amostras das Áreas de Empréstimo

J.R.L.  
 JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES  
 Resp. Técnico MG-12545/D



**Figura 3.3 – Resultados da Compactação Proctor Normal das Amostras das Áreas de Empréstimo**

#### 4. ANÁLISE DE ESTABILIDADE E PERCOLAÇÃO

A análise computacional foi desenvolvida com a utilização do software Slide 6.0 da Rocscience Inc. Toronto-Canadá. Utilizou-se o método analítico baseado na teoria do equilíbrio limite, adotando-se o método de Spencer e o critério de ruptura de Mohr-Coulomb para materiais naturais do talude.

##### 4.1. SEÇÕES ANALISADAS

As Figuras 4-1 e 4-2 apresentam a planta e seção do Dique.

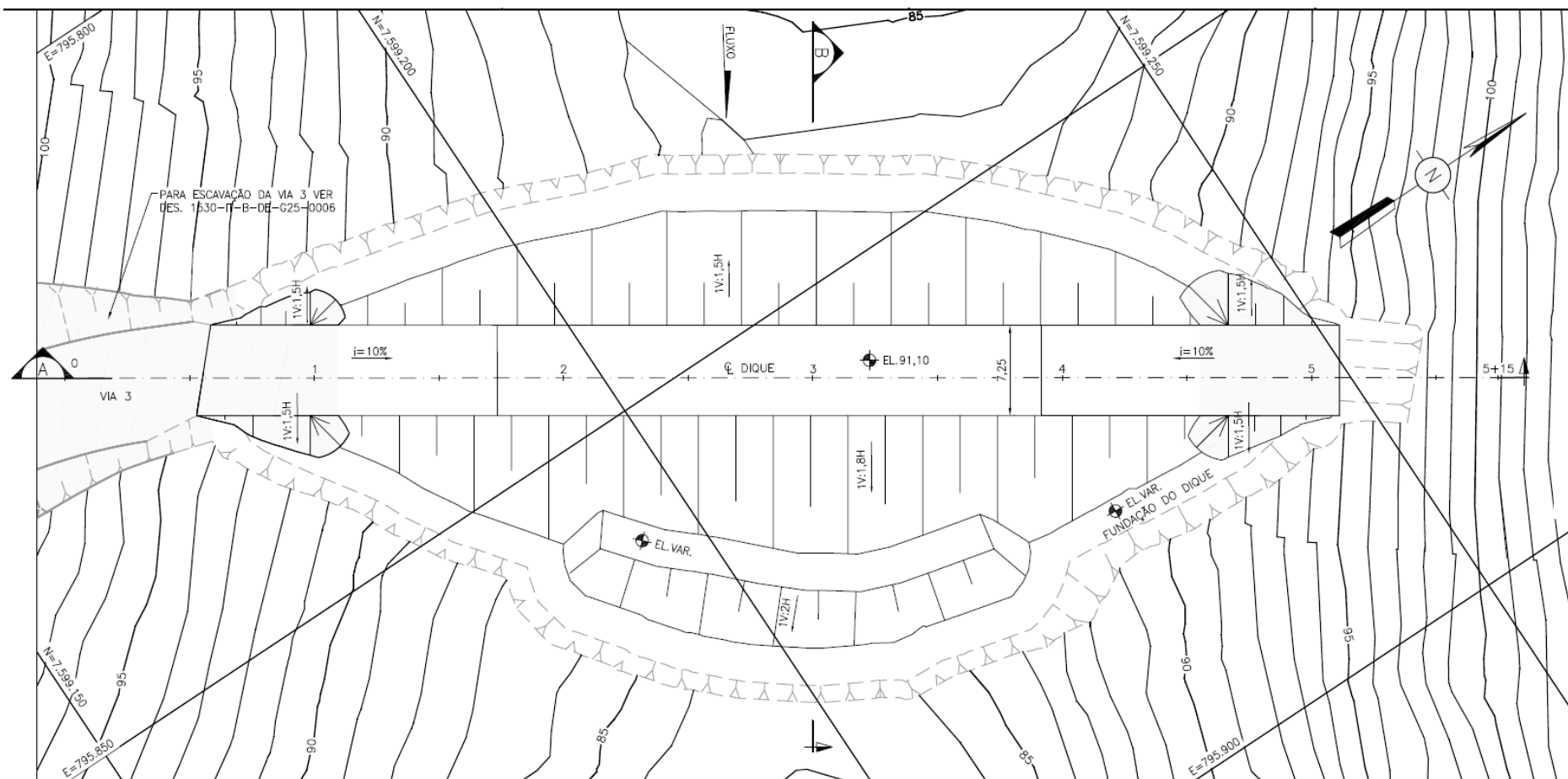
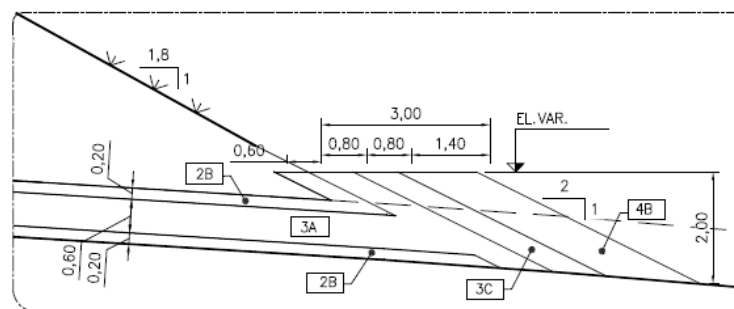
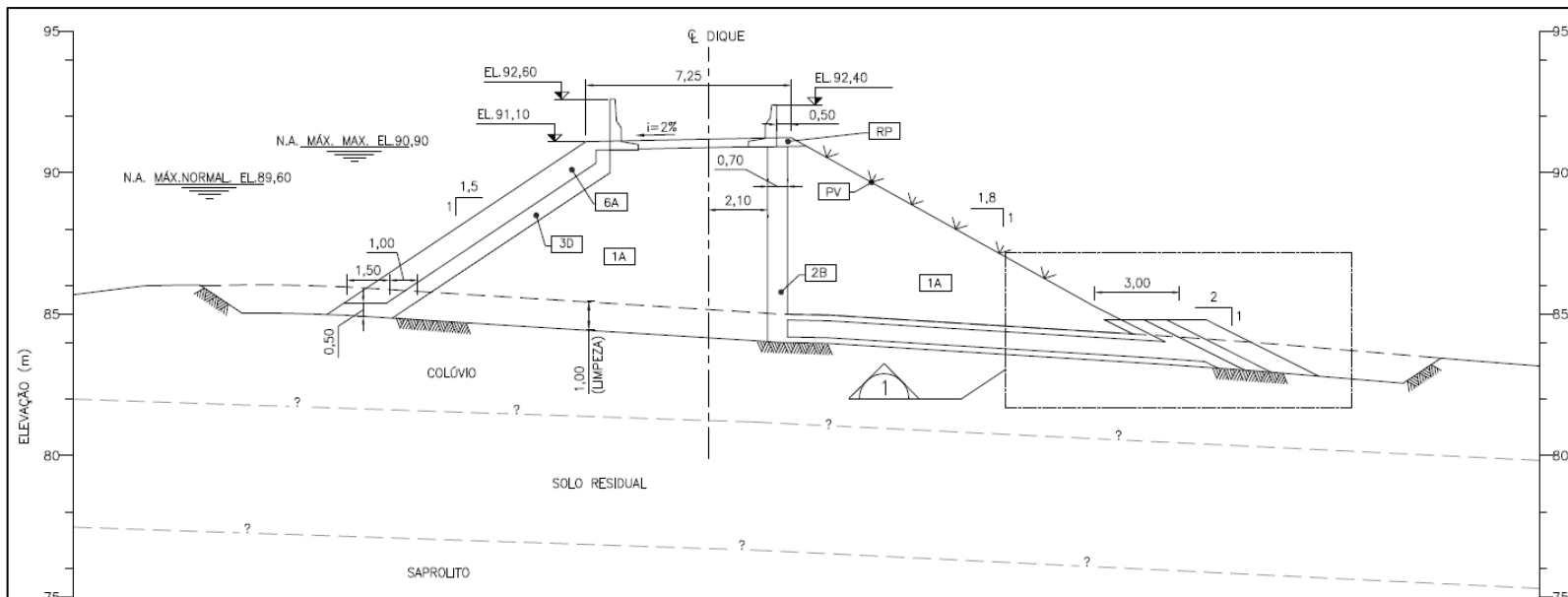


Figura 4.1 – Dique – Leito do Rio – Planta



**DETALHE 1**

**Figura 4.2 – Dique – Seção Típica**

*J. H. L.*  
 JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES  
 Resp. Técnico MG-12545/D



## 4.2 PARÂMETROS ADOTADOS

Os parâmetros dos materiais de construção do Dique adotados nas análises de percolação e estabilidade foram baseados nos valores utilizados nas análises efetuadas no Projeto Básico pela SPEC e nas análises tátil-visuais das amostras das áreas de empréstimo e poços de inspeção executados na etapa do Projeto Básico Consolidado, Tabela 4-1.

Após o recebimento dos resultados dos ensaios programados para os materiais do aterro de solo compactado e solo da fundação do Dique, os parâmetros de resistência e permeabilidade serão atualizados e a Memória de Cálculo revisada. Ajustes na geometria das seções e no sistema de drenagem interno poderão ser necessários para atender aos fatores de segurança mínimos admissíveis.

**Tabela 4-1: Parâmetros de Resistência Adotados Estimados**

MATERIAIS		PARÂMETROS				
TIPO	DESCRIÇÃO	$\gamma_{SAT}$	$c'$	$\phi'$	k	Ru
		kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>	°	m/s	
1A	Solo Compactado	19 18 (normal)	20	25	kh=1,0E-07 kv=1,0E-08	0,15
2B	Areia	19	0	30	1,0E-04	-
3A	Transição Fina Compactada	19	0	30	1,0E-02	-
3D	Transição Única Compactada	19	0	30	1,0E-03	-
4B	Enrocamento Compactado	20	0	46	1,0E+00	-
CO	Colúvio	18	10	20	1,0E-06	-
SR	Solo Residual/Saprolito	20	20	30	1,0E-07	-

## 4.3 METODOLOGIA DE ANÁLISE

A análise realizada no estudo da estabilidade de taludes define os possíveis fatores instabilizantes que podem vir a atuar ao longo do tempo sobre a estrutura, seja reduzindo sua resistência ao cisalhamento ou aumentando as tensões cisalhantes atuantes no seu corpo. A determinação de um índice, no caso, o Fator de Segurança, permite quantificar o quão próximo da ruptura uma determinada estrutura se encontra.

A análise computacional da estabilidade foi realizada conforme preconizado pela norma NBR 13.028/06 e desenvolvida a partir do software Slide 6.0 da Rocscience Inc. Toronto – Canadá. Utilizou-se o método analítico baseado na teoria do equilíbrio limite, através da análise de Spencer, sendo adotado o critério de ruptura de Mohr-Coulomb.

- Para tensões totais:  $\tau = c + \sigma \times \text{tg}(\phi)$ ;

- Para tensões efetivas:  $\tau = c' + \sigma' \times \text{tg}(\phi')$ .

Onde:

- $\tau$ : Resistência ao cisalhamento;
- $c$ : Coesão;
- $\sigma$ : Tensão normal total;
- $\phi$ : Ângulo de atrito;
- $c'$ : Coesão com base na tensão normal efetiva;
- $\sigma'$ : Tensão normal efetiva;
- $\phi'$ : Ângulo de atrito com base na tensão normal efetiva.

Para o enrocamento foi utilizado o critério de Shear Normal function. Os parâmetros foram determinados de acordo com a curva 2 determinada por Leps (1970) para a resistência dos enrocamentos, segundo a equação:

$$\tau = c + \sigma \times \text{tg}(\phi)$$

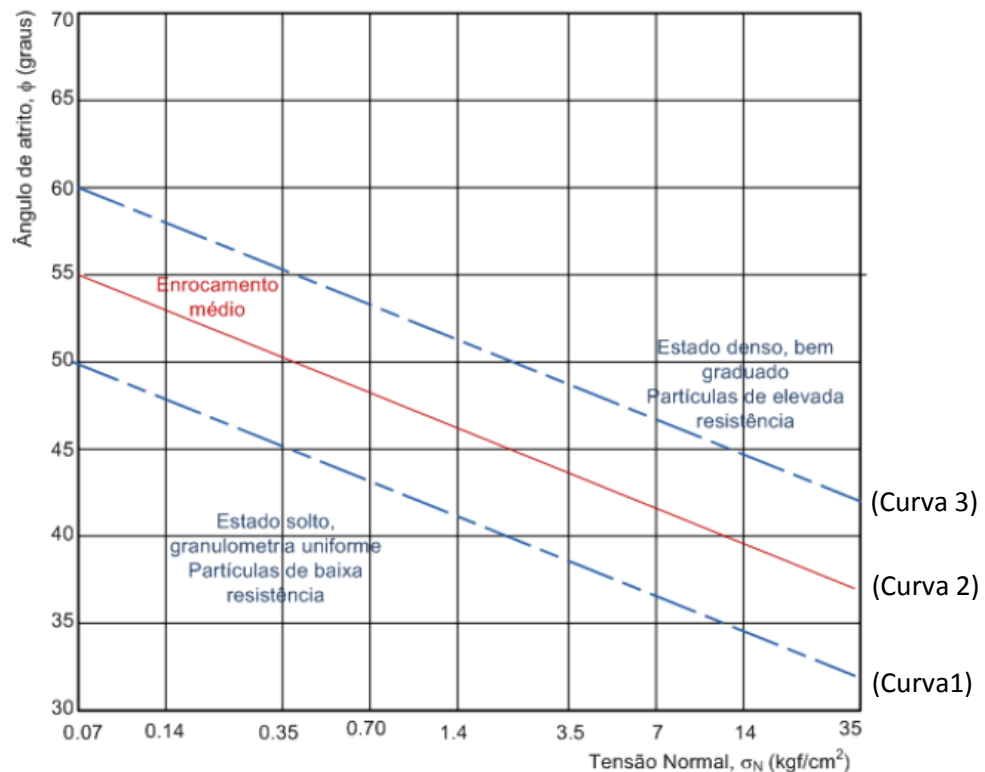
Onde:

- $\tau$ : Resistência ao cisalhamento;
- $c$ : Coesão;
- $\sigma_N$ : Tensão normal total;
- $\phi$ : Ângulo de atrito.

Para  $c = 0$  kPa, foram utilizados os seguintes dados nas análises de estabilidade e percolação, conforme apresentado na Tabela 4-2 e na Figura 4-5.

**Tabela 4-2: Dados das Curvas de Leps**

CURVA 2					
$\sigma_N$ (kPa)	7	70	140	350	3500
$\phi$ (°)	55	48	46	44	37
$\tau$ (kPa)	10,00	77,74	144,97	338,00	2.637,40



**Figura 4.3: Influência do Estado de Tensão no Ângulo de Atrito Interno de Materiais de Enrocamento (adaptado de Leps, 1970)**

#### 4.3 ANÁLISES EFETUADAS

As análises foram desenvolvidas considerando as seguintes condições:

- Final de Construção – onde foram analisados os taludes de montante e jusante, considerando o parâmetro de pressão neutra ( $R_u$ ) no núcleo de solo compactado;
- Regime Permanente de Operação – para o talude de jusante, com nível de água a montante na elevação normal, El. 89,60m. Considerando-se dissipação total do excesso de pressão neutra no núcleo de solo compactado;
- Análise Sísmica – considera os sismos induzidos pelo enchimento do reservatório da UHE Itaocara I adotando-se cargas sísmicas correspondentes a acelerações de 0,05g na direção horizontal e 0,03g na direção vertical.

Os fatores de segurança mínimos admissíveis para a estabilidade dos aterros considerados, de acordo com as Diretrizes de Projeto apresentadas pela ELETROBRÁS, com base no documento da US Army Corps of Engineers - EM 1110-2-1902 de 31/10/2003, foram 1,3 para a situação de final de construção, 1,5 para regime permanente de operação e 1,1 para as análises sísmicas.

Para os sistemas de drenagem interna, a vazão requerida, estimada a partir do coeficiente de permeabilidade de projeto e da geometria do elemento, deverá ser 10 vezes menor que o coeficiente de permeabilidade disponível, calculado a partir da geometria do elemento e das permeabilidades dos materiais que o conformam. Para os sistemas de drenagem horizontal, como o tapete drenante, o gradiente hidráulico equivalente não deverá ser superior a 0,10, enquanto para o sistema vertical o gradiente deverá ser inferior a 1,0.

## 5. RESULTADO DAS ANÁLISES DE PERCOLAÇÃO

A Tabela 5-1 apresenta o resumo dos resultados das vazões obtidas no sistema de drenagem interno para as seções de Barragem de Terra estudadas.

Tabela 5-1: Resumo dos Resultados das Vazões Obtidas no Sistema de Drenagem Interno

SEÇÃO TÍPICA	VAZÃO (m <sup>3</sup> /s/m)	
	FILTRO VERTICAL	TAPETE DRENANTE
DIQUE	2,75x10 <sup>-7</sup>	2,15x10 <sup>-6</sup>

### 5.1 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM INTERNO

Para a verificação das espessuras do filtro vertical, filtro inclinado e tapete drenante foi utilizada a equação de Darcy:

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

Onde:

Q: vazão especificada (m<sup>3</sup>/s/m);

k: coeficiente de permeabilidade do material (m/s);

i: gradiente hidráulico ( $\Delta H/\Delta L$ );

A: é a área da seção transversal do filtro relativa a um metro de largura de barragem (m<sup>2</sup>/m).

Para a obtenção das vazões de projeto dos sistemas de drenagem foi adotada a seguinte metodologia:

A vazão do sistema de drenagem foi determinada utilizando-se as permeabilidades de projeto. Tendo como base a vazão de projeto foi determinado o coeficiente de permeabilidade requerido para drenar esta vazão. Este coeficiente de permeabilidade requerido foi comparado com o coeficiente de permeabilidade disponível determinado com base na geometria do sistema de drenagem e na permeabilidade dos materiais que o conformam.

Para o dimensionamento do sistema de drenagem interno foi utilizado como referência às máximas vazões obtidas nas análises de percolação.

A Figura 5-1 apresenta o resultado da análise de percolação da seção típica do Dique.

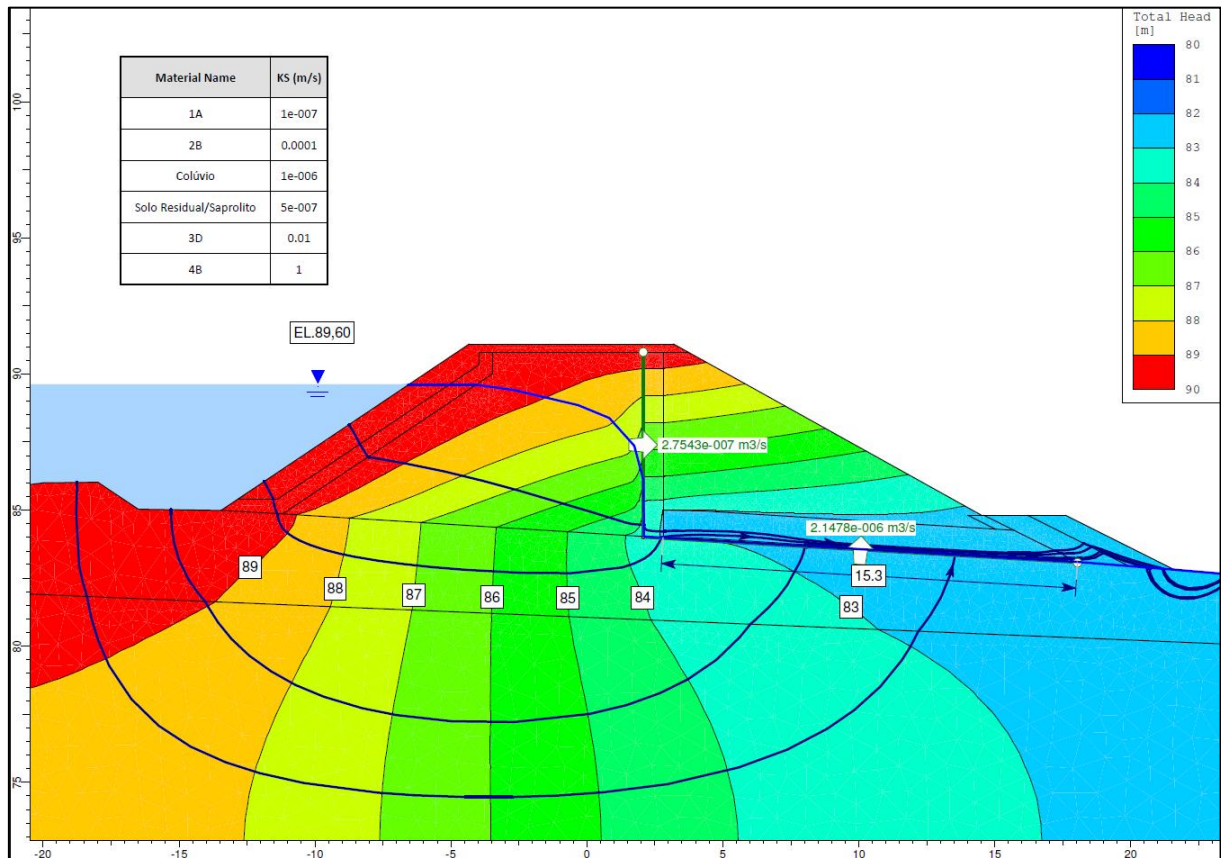


Figura 5-1 – Seção Típica – Análise de Percolação

- **FILTRO VERTICAL:**

Por critério construtivo determinou-se a espessura mínima para o filtro vertical igual a 0,70 m. Admitindo a permeabilidade para a areia de  $k = 1,0 \times 10^{-4}$  m/s e gradiente hidráulico igual a 1,0, referente a um elemento drenante vertical, tem-se:

$$Q_{\text{disponível}} = k \cdot i \cdot A$$

$$Q_{\text{disponível}} = 1,0 \times 10^{-4} \times 1,0 \times 0,7 = 7,00 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

Adotando-se o  $Q_{\text{requerida}}$  como sendo o valor encontrado na análise de percolação, tem-se um fator de segurança de:

$$Q_{\text{requerida}} = 2,75 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$F.S. = \frac{7,00 \times 10^{-5}}{2,75 \times 10^{-7}} = 255 \geq 10 \quad \rightarrow \quad \text{OK}$$

Portanto, para esta configuração do filtro vertical, a condição de drenagem é satisfeita:

  
 JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES  
 Resp. Técnico MG-12545/D

- TAPETE DRENANTE

Inicialmente foi considerado um tapete drenante composto apenas por uma camada de 1,0m de areia. Admitindo a permeabilidade para a areia de  $k = 1,0 \times 10^{-4}$  m/s, tem-se:

$$Q_{\text{disponível}} = k \cdot i \cdot A$$

$$i = \Delta H / \Delta L = 1,0 / 15,3 = 0,065;$$

$$A = e \times 1,0 = 1,0 \times 1,0 = 1,0 \text{ m}^2/\text{m};$$

$$Q_{\text{disponível}} = 1,0 \times 10^{-4} \times 0,065 \times 1,0 = 6,50 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

Adotando-se o  $Q_{\text{requerida}}$  como sendo o valor encontrado na análise de percolação, tem-se um fator de segurança de:

$$Q_{\text{requerida}} = 2,75 \times 10^{-7} + 2,15 \times 10^{-6} = 2,43 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$F.S. = \frac{6,50 \times 10^{-6}}{2,43 \times 10^{-6}} = 2,67 \leq 10 \quad \longrightarrow \quad \text{NÃO OK}$$

Portanto, para esta configuração do tapete horizontal, a condição de drenagem não é satisfeita.

Em seguida foi considerado o tapete drenante composto de 03 (três) camadas de material drenante: Areia (0,20 m) + Transição Fina (0,60 m) + Areia (0,20 m), totalizando a espessura de 1,00 m.

Na equação  $Q = k \cdot i \cdot A$ , foram adotados:

$$k = k_{\text{equivalente}} = (0,20 \times 1 \times 10^{-4} + 0,60 \times 1 \times 10^{-2} + 0,20 \times 1 \times 10^{-4}) / 1,00 = 6,04 \times 10^{-3} \text{ m/s}/\text{m};$$

$$i = \Delta H / \Delta L = 1,0 / 15,3 = 0,065;$$

$$A = e \times 1,0 = 1,0 \times 1,0 = 1,0 \text{ m}^2/\text{m};$$

$$Q_{\text{disponível}} = 6,04 \times 10^{-3} \times 0,065 \times 1,0 = 3,93 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

Como o  $Q_{\text{requerida}} = 2,43 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ , tem-se um fator de segurança:

$$F.S. = \frac{3,93 \times 10^{-4}}{2,43 \times 10^{-6}} = 162 \geq 10 \quad \longrightarrow \quad \text{OK}$$

Portanto, para esta configuração do tapete horizontal a condição de drenagem é satisfeita.

## 6. RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ESTABILIDADE

A Tabela 6-1 apresenta o resumo dos resultados obtidos para as análises de estabilidade efetuadas.

**Tabela 6-1: Resumo dos Resultados das Análises de Estabilidade**

SEÇÃO TÍPICA	ANÁLISE	TALUDE	FS MÍNIMO EXIGIDO	FS MÍNIMO OBTIDO	VERIFICAÇÃO
DIQUE	FINAL DE CONSTRUÇÃO	MONTANTE	1,32	1,3	OK
		JUSANTE	2,02	1,3	OK
	FINAL DE CONSTRUÇÃO (COM SISMO)	MONTANTE	1,03	1,0	OK
		JUSANTE	1,81	1,0	OK
	REGIME PERMANENTE DE OPERAÇÃO	JUSANTE	1,91	1,5	OK
	REGIME PERMANENTE DE OPERAÇÃO (COM SISMO)	JUSANTE	1,53	1,0	OK

As Figuras 6-1 a 6-6 apresentam os resultados das análises de estabilidade da seção típica do Dique.

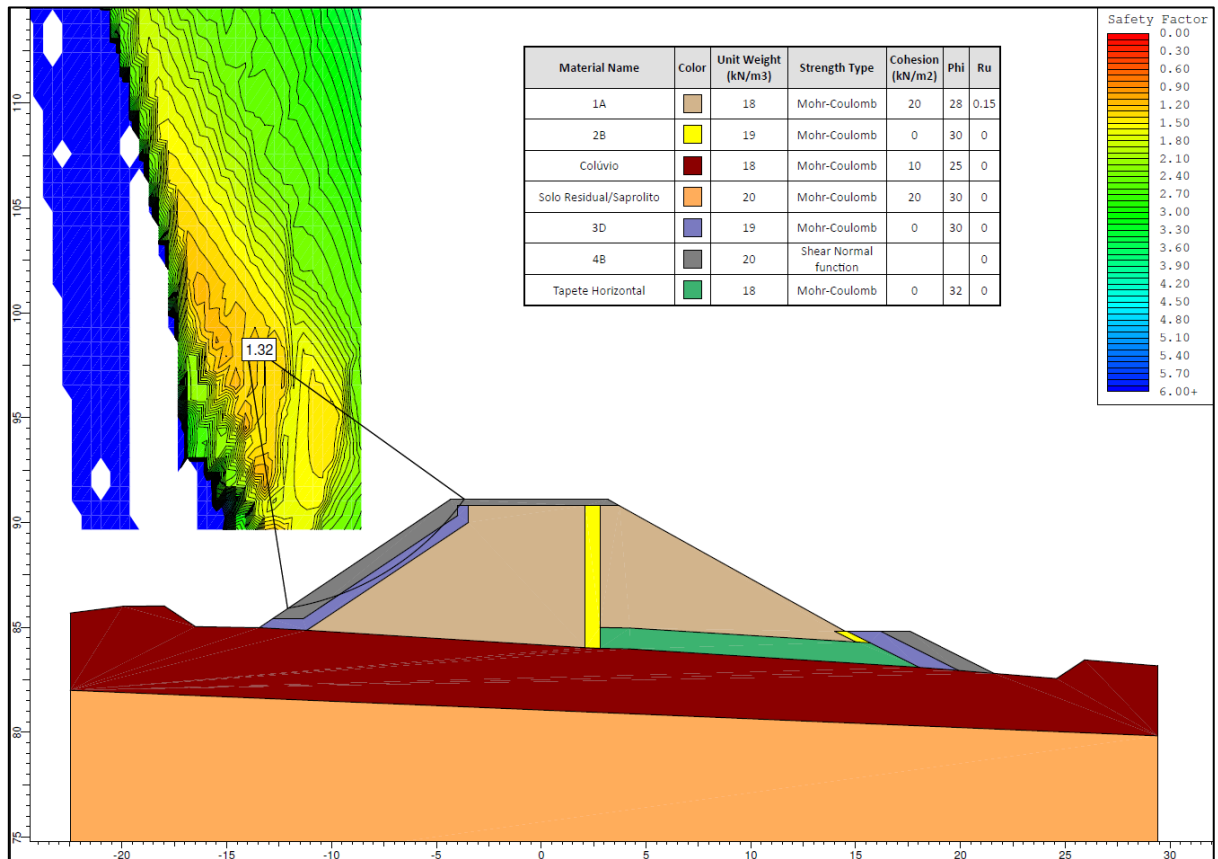


Figura 6-1 – Final de Construção Montante

*J. H. R. L.*  
 JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES  
 Resp. Técnico MG-12545/D



UHE ITAOCARA I

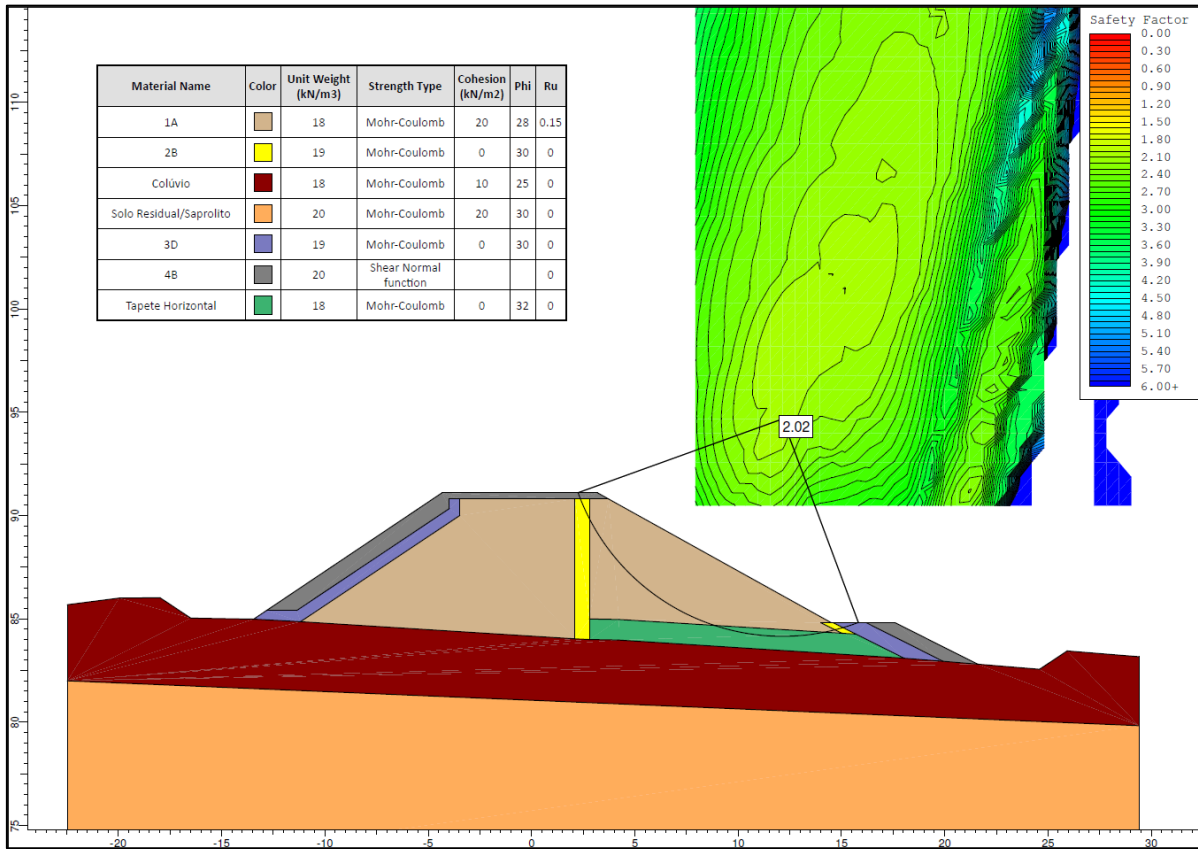


Figura 6-2 – Final de Construção Jusante



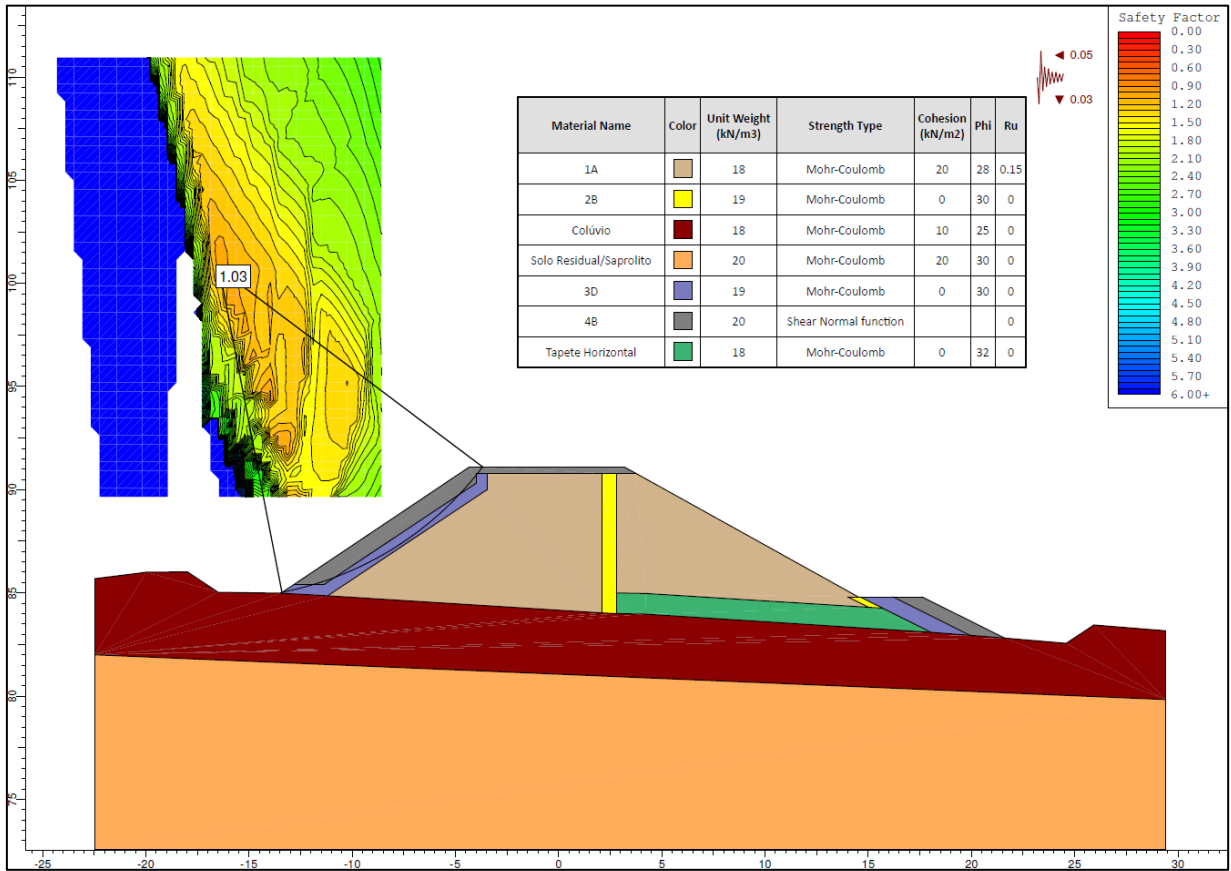


Figura 6-3 – Final de Construção Montante – Com Sismo

*J. H. R. L.*  
 JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES  
 Resp. Técnico MG-12545/D

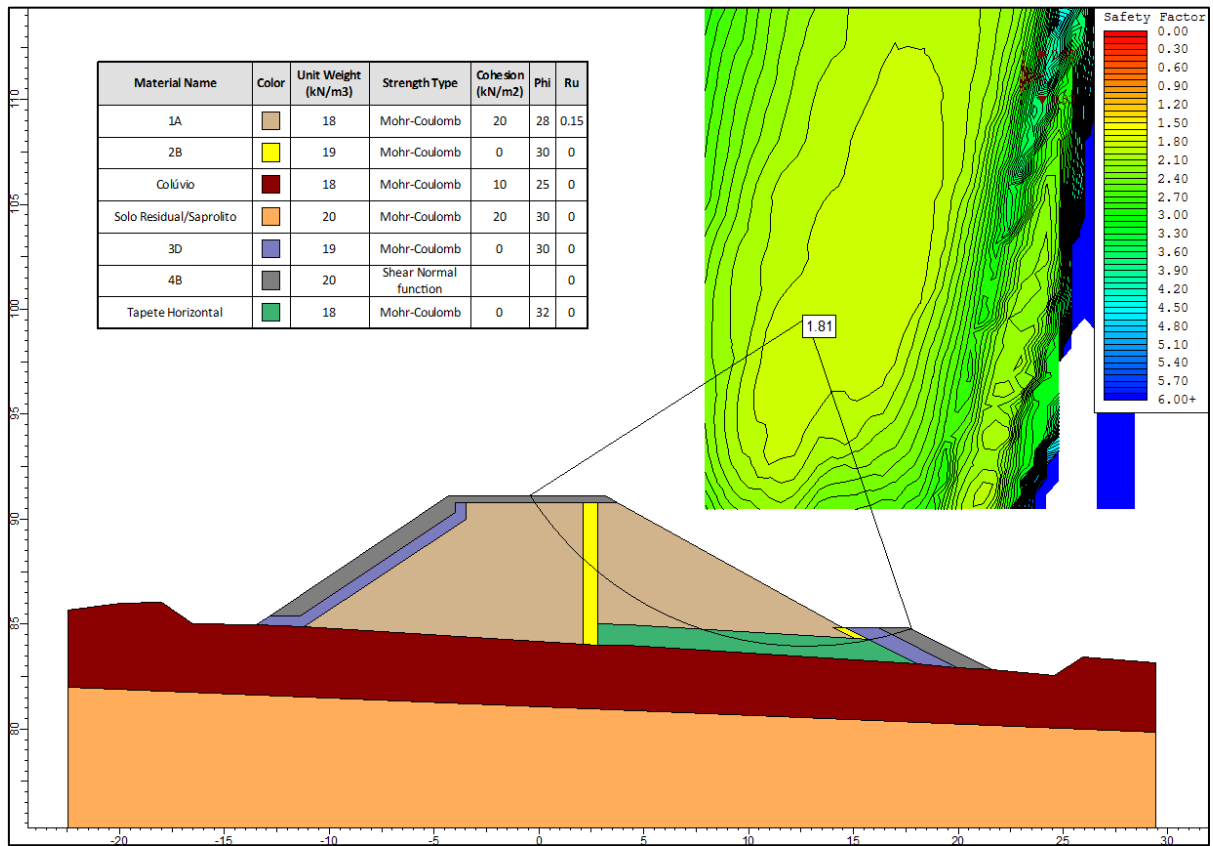


Figura 6-4 – Final de Construção Jusante – Com Sismo

*J.R.L.*  
 JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES  
 Resp. Técnico MG-12545/D

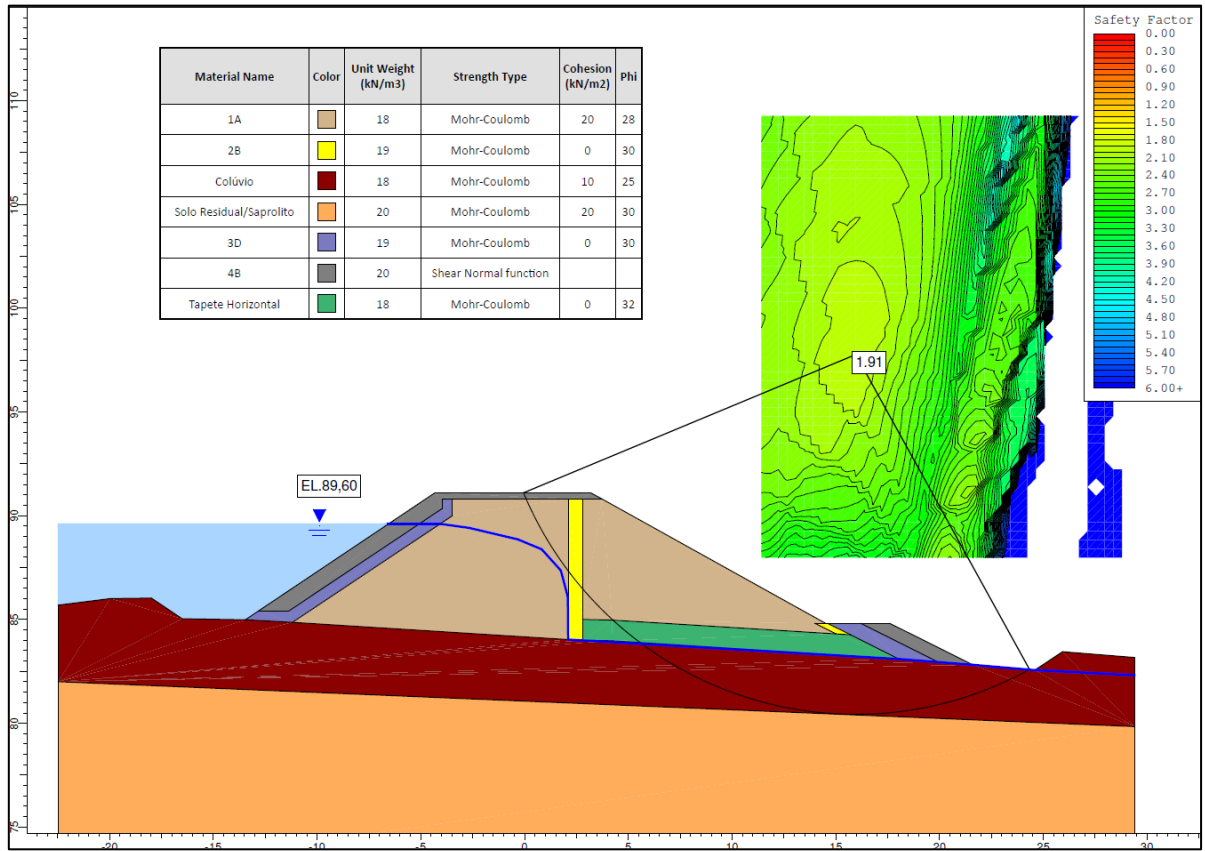


Figura 6-5 – Regime Permanente de Operação

JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES  
 Resp. Técnico MG-12545/D

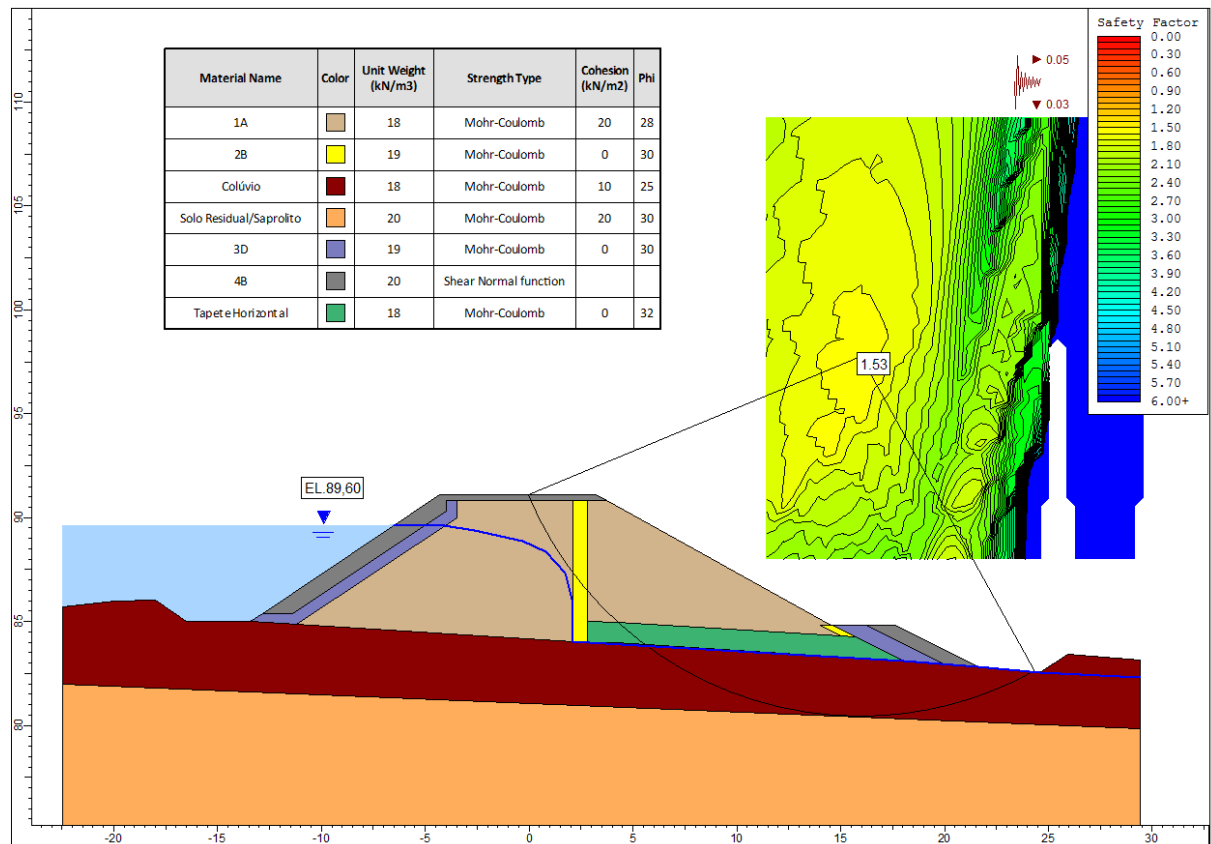


Figura 6-6 – Regime Permanente de Operação – Com Sismo

## 7. CONCLUSÃO

Ao comparar os fatores de segurança mínimos obtidos através das análises computacionais de percolação e estabilidade com os valores preconizados pela US Army Corps of Engineers para ruptura dos taludes de jusante e montante, conclui-se que os taludes e o sistema de drenagem propostos para o Dique da UHE Itaocara I estão em conformidade com os fatores de segurança mínimos admissíveis.

## 8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

*Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas.* Eletrobrás (Janeiro/2000).

EM 1110-2-1902 – *Engineering and Design – Slope Stability.* Department of the Army. U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC., 31 October 2003.

Leps, T.M. (1970). *Review of Shearing Strength of Rockfill.* *J. of the Soil Mech, and Found, Div., Am. Soc. Of Civil Eng.,* Vol. 96, No. SM4, Proc. Paper 7394, July, pp. 1159-1170.

  
 JOSÉ HENRIQUE RODRIGUES LOPES  
 Resp. Técnico MG-12545/D