

**PROJETO BÁSICO**  
**DESCARREGADOR DE FUNDO**  
**ESTABILIDADE - MEMÓRIA DE CÁLCULO**

1	Emissão Final	SRP	RRB	MAI/16
Nº	Descrição	Prep.	Aprov.	Data
REVISÕES				
				
<b>PROJETO BÁSICO</b>				
				

**UHE ITAOCARA I**

Preparado	<u>SRP</u>	Aprov.	Marcelo K. Turqueti Gerente do Projeto	Nº VLB	Rev.
Conferido	<u>MMPS</u>			1530-IT-B-MC-V11-0003	1
Visto	<u>RRB</u>	Aprov.	José H. R. Lopes Resp. Técnico	Nº do Cliente	Rev.
Data	<u>MAI/16</u>		MG-12545/D		

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

**PROJETO BÁSICO**  
**DESCARREGADOR DE FUNDO**  
**ESTABILIDADE - MEMÓRIA DE CÁLCULO**

**ÍNDICE**

1	INTRODUÇÃO.....	4
1.1.	OBJETIVO.....	4
1.2.	UNIDADES.....	4
1.3.	COEFICIENTE DE SEGURANÇA À FLUTUAÇÃO – CSF.....	4
1.4.	COEFICIENTE DE SEGURANÇA AO TOMBAMENTO – CST.....	4
1.5.	COEFICIENTE DE SEGURANÇA AO DESLIZAMENTO – CSD.....	5
1.6.	PORCENTAGEM DA ÁREA COMPRIMIDA.....	6
1.7.	PARÂMETROS ADOTADOS.....	7
1.8.	CARGAS CONSIDERADAS.....	7
1.9.	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	9
2	ESTRUTURA.....	10
2.1.	GEOMETRIA.....	10
3	CASOS DE CARREGAMENTO.....	11
3.1.	CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN.....	13
3.2.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1.....	14
3.3.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2.....	15
3.4.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3.....	16
3.5.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4.....	17
3.6.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1.....	19
3.7.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2.....	20
3.8.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3.....	21
4	ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	22
4.1.	CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN.....	22
4.2.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1.....	24
4.3.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2.....	26
4.4.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3.....	28
4.5.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4.....	30

UHE ITAOCARA I

4.6.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1 .....	32
4.7.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2 .....	34
4.8.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3 .....	36
5	TENSÕES NA BASE .....	38
5.1.	CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN .....	39
5.2.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1 .....	40
5.3.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2 .....	41
5.4.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3 .....	42
5.5.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4 .....	43
5.6.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1 .....	44
5.7.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2 .....	45
5.8.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3 .....	46
6	COEFICIENTES DE SEGURANÇA ENCONTRADOS .....	48
6.1.	CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN .....	48
6.2.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1 .....	48
6.3.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2 .....	48
6.4.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3 .....	49
6.5.	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4 .....	49
6.6.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1 .....	49
6.7.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2 .....	50
6.8.	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3 .....	50
7	CONCLUSÃO .....	50
ANEXO A – UHE ITAOCARA I – JUSTIFICATIVA SOBRE ADOÇÃO DE PARÂMETROS GEOMECÂNICOS NA INTERFACE ROCHA/CONCRETO .....		51

**PROJETO BÁSICO**  
**DESCARREGADOR DE FUNDO**  
**ESTABILIDADE - MEMÓRIA DE CÁLCULO**

**1 INTRODUÇÃO**

**1.1. OBJETIVO**

Esta memória de cálculo tem como objetivo apresentar a análise de estabilidade do Descarregador de Fundo da UHE Itaocara I.

**1.2. UNIDADES**

As unidades nesta memória estão de acordo com o sistema internacional de medidas (SI), sendo as forças adotadas em “kN”, as medidas lineares e elevações em “m”, as áreas em “m<sup>2</sup>” e os volumes em “m<sup>3</sup>”.

**1.3. COEFICIENTE DE SEGURANÇA À FLUTUAÇÃO – CSF**

$$CSF = \frac{\Sigma V}{\Sigma U}$$

Onde:

CSF – Coeficiente de segurança à flutuação;

$\Sigma V$  – Somatório das forças gravitacionais;

$\Sigma U$  – Somatório das forças de subpressão.

Coeficientes de Segurança	Casos de Carregamentos			
	CCN	CCE	CCL	CCC
Flutuação – CSF	1,30	1,10	1,10	1,20

**1.4. COEFICIENTE DE SEGURANÇA AO TOMBAMENTO – CST**

$$CST = \frac{\Sigma M_E}{\Sigma M_T}$$

Onde:

CST – Coeficiente de segurança ao tombamento;

$\Sigma M_E$  – Somatório dos momentos estabilizantes;

$\Sigma M_T$  – Somatório dos momentos de tombamento.

Coeficientes de Segurança	Casos de Carregamentos			
	CCN	CCE	CCL	CCC
Tombamento – CST	1,50	1,20	1,10	1,30

Obs.: Adota-se que a verificação da segurança ao tombamento é desnecessária quando a resultante de todas as forças atuantes estiver localizada dentro do núcleo central de inércia da área da base da estrutura, ou seja, 100% comprimida, ao nível onde o tombamento esteja sendo analisado.

### 1.5. COEFICIENTE DE SEGURANÇA AO DESLIZAMENTO – CSD

$$\begin{array}{cc}
 \text{SEM COESÃO} & \text{COM COESÃO} \\
 \frac{\sum N_i T g \phi_i}{\sum T_i} \geq CSD_{\phi} & \frac{\frac{\sum N_i t g \phi_i}{CSD_{\phi}} + \frac{\sum C_i A_i}{CSD_c}}{\sum T_i} \geq 1,0
 \end{array}$$

Onde:

$CSD_{\phi}$  – Coeficiente de ponderação relativo ao atrito;

$CSD_c$  – Coeficiente de ponderação relativo à coesão;

$N_i$  – Força normal à superfície de escorregamento em análise;

$\phi_i$  – Ângulo de atrito característico da superfície de escorregamento em análise;

$C_i$  – Coesão característica ao longo da superfície de escorregamento;

$A_i$  – Área efetiva de contato da estrutura no plano em análise;

$T_i$  - Resultante das forças paralelas à superfície de escorregamento.

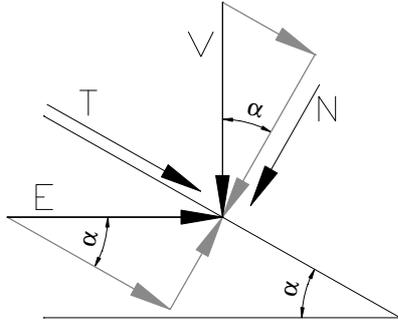
Coeficientes de segurança	Casos de Carregamentos			
	CCN	CCE	CCL	CCC
$CSD_c$	3,00	1,50	1,30	2,00
$CSD_{\phi}$	1,50	1,10	1,10	1,30

Para estruturas com base em planos inclinados, o cálculo da segurança ao escorregamento é realizado considerando-se tensões normais e tangenciais aos planos de contato pelo processo de NIGAM, sendo estas obtidas pela decomposição das tensões verticais e horizontais.

As resultantes das forças verticais (V) e horizontais (E) são calculadas utilizando os valores de tensões obtidos das seguintes fórmulas:

$$V = \frac{\sigma_i^V + \sigma_{i+1}^V}{2} \times A_{i-i+1} \qquad E = \frac{\sigma_i^H + \sigma_{i+1}^H}{2} \times A_{i-i+1}$$

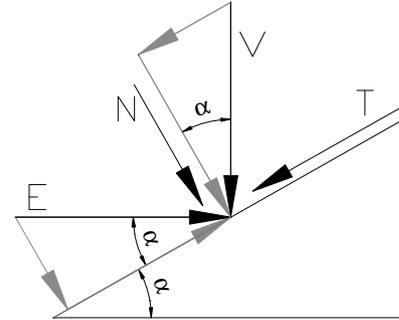
As forças normais (N) e tangenciais (T) dependem do sentido de inclinação do plano em que atuam e são obtidas a partir das forças verticais e horizontais pelas expressões:



Plano Descendente

$$N = V \times \cos\alpha - E \times \text{sen}\alpha$$

$$T = V \times \text{sen}\alpha + E \times \cos\alpha$$



Plano Ascendente

$$N = V \times \cos\alpha + E \times \text{sen}\alpha$$

$$T = -V \times \text{sen}\alpha + E \times \cos\alpha$$

### 1.6. PORCENTAGEM DA ÁREA COMPRIMIDA

No contato concreto-rocha não é permitida a abertura de junta para as condições de Carregamento Normal, tratando-se de estruturas principais e do barramento. Para os casos de Carregamento de Construção e Excepcional admite-se que a base esteja 67% comprimida. Para o caso de Carregamento Limite, basta que a resultante se encontre dentro da base.

	Casos de Carregamentos			
	CCN	CCE	CCL	CCC
% da Área Comprimida	100% <sup>(1)</sup>	67% <sup>(1)</sup>	Resultante dentro da Base	67% <sup>(1)</sup>

- 1) Limite mínimo de área comprimida na base da estrutura.

UHE ITAOCARA I

1.7. PARÂMETROS ADOTADOS

1.7.1 Peso específico dos materiais

Concreto Convencional Vibrado (CCV): ..... $\gamma_{CCV} = 24,00 \text{ kN/m}^3$

Água: ..... $\gamma_{\text{água}} = 10,00 \text{ kN/m}^3$

1.7.2 Parâmetros Geomecânicos (Ver Anexo A)

Coesão contato concreto - rocha:..... $C = 400 \text{ kN/m}^2$

Ângulo de atrito contato concreto - rocha: ..... $\Phi = 40^\circ$

1.8. CARGAS CONSIDERADAS

Foram consideradas, na análise de estabilidade, as seguintes cargas:

- Peso Próprio da Estrutura;
- Peso de Água;
- Empuxo de Água;
- Subpressão;
- Efeito sísmico.

Para o cálculo da subpressão e do efeito sísmico serão utilizados os critérios listados no item a seguir.

1.8.1 Subpressão

Para as estruturas providas de sistema de drenagem, o diagrama de subpressão no contato concreto-fundação será obtido de acordo com as condições a seguir:

A subpressão será considerada como atuante em 100 % da área da base;

Nas extremidades de montante e de jusante, as subpressões são dadas pelas colunas de água medidas respectivamente pelos níveis de água de montante e de jusante, até o plano de contato do concreto com a fundação;

Assume-se que a plena subpressão intersticial (carga do reservatório) atua nas áreas onde aparecem tensões de tração. Nos casos de efeito sísmico, face à natureza oscilatória do carregamento e ao curto intervalo de duração, não deve ser considerada a pressão hidrostática de montante na junta aberta.

Nos pontos situados entre as extremidades de montante e de jusante, os valores da subpressão deverão ser ajustados aos seguintes critérios:

Drenos Operantes

Na linha de drenos será igual à coluna de água correspondente ao nível de jusante acrescido de 1/3 da diferença entre as pressões de água de montante e de jusante, isto é:

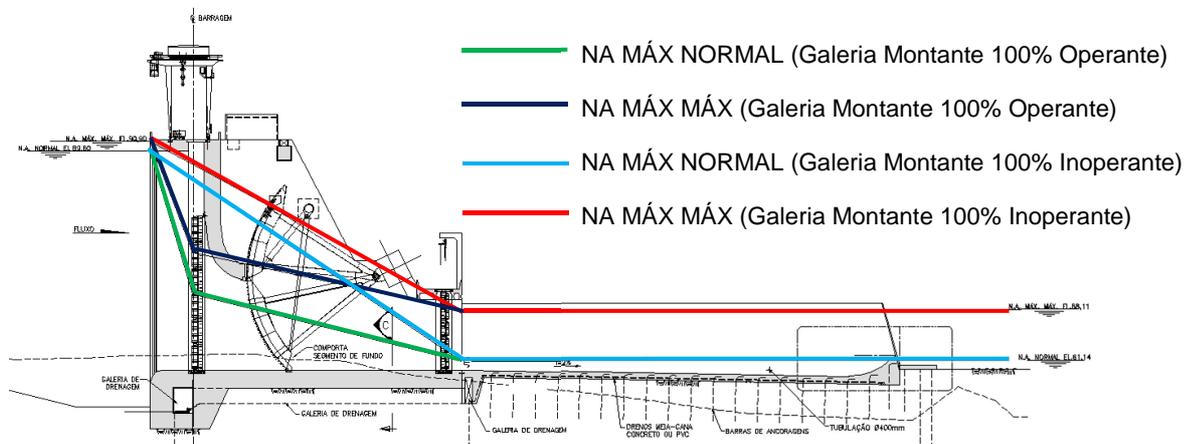
$$H_d = H_j + \frac{H_m - H_j}{3}$$

Se o piso da galeria estiver situado acima do nível de água de jusante, a pressão na linha de drenos será calculada como se o nível de jusante seja coincidente com o piso da galeria.

### Drenos Inoperantes

A pressão varia linearmente entre os valores de  $H_m$  e  $H_j$ , definidos e localizados nas mesmas condições do item anterior.

Para o caso específico de arranjo da estrutura vertente da UHE Itaocara I, que possui uma calha (laje de fundo e muros laterais) à jusante da estrutura do Descarregador de Fundo, provida de um sistema de drenos meia cana em contato com a rocha de fundação e ainda considerando que a localização da mesma encontra-se fora da região do barramento, ou seja, o nível de água de jusante do barramento circunda as laterais da calha causando influência na sua subpressão, será admitida a seguinte configuração para a linha piezométrica:



**Figura – Descarregador de Fundo – Linha Piezométrica**

### 1.8.2 Efeito Sísmico

Os valores adotados para a Aceleração Sísmica Horizontal e Vertical são, respectivamente, 0,05g e 0,03g, sendo “g” o valor da aceleração de gravidade em  $m/s^2$ .

O efeito sísmico no concreto será aplicado no centro de gravidade da estrutura analisada. Não será considerada a influência do sismo no valor da subpressão. Já a variação da pressão hidrodinâmica devido ao abalo horizontal, é dada pela expressão a seguir.

$$\Delta P = \frac{Cm}{2} \left[ \frac{z}{H} \times \left( 2 - \frac{z}{H} \right) + \sqrt{\frac{z}{H} \times \left( 2 - \frac{z}{H} \right)} \right] \times \lambda \times \varpi \times H$$

Onde:

$\lambda$  - Aceleração horizontal;

H - Profundidade máxima;

$\omega$  - Peso específico da água;

z - Distância vertical desde a superfície até a seção em estudo;

Cm - adimensional, função da inclinação do paramento de montante.

#### 1.9. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Foram considerados os seguintes documentos como referência:

1530-IT-B-DE-V11-0001 e 0002 - Projeto Básico - Descarregador de Fundo - Arranjo – Plantas e Cortes;

1530-IT-B-CP-G00-0001 – Projeto Básico - Geral - Critérios de Projeto Civil;

ELETROBRÁS. Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas. Eletrobrás/CBDB, Brasília/DF, 2003;

CBDB. Guia Básico de Segurança de Barragens. CBDB, Rio de Janeiro/RJ, 1999;

CORPS. Stability Analysis of Concrete Structures. U.S. Army Corps of Engineers, 2005;

NIGAM, P. S. Handbook of Hydro Electric Engineering. New Chand & Bros., Roorkee/Índia, 1979. p. 463-468;

DEPARTMENT OF THE ARMY. EM 1110-2-2200 - Gravity Dam Design. Department of the Army, Washington/DC/EUA, 1995;

FONG, Fu Mei. Estabilidade de Estruturas Hidráulicas de Gravidade. Cia. Brasileira de Artes Graficas, 1978;

BUREAU OF RECLAMATION. Engineering Monograph n° 19: Design Criteria for Concrete Arch and Gravity Dams. Department of The Interior, Denver/CO/EUA, 1977;

BUREAU OF RECLAMATION. Design of Gravity Dams - Design Manual for Concrete Gravity Dams. Department of the Interior, Denver/CO/EUA, 1976, p. 32;

BUREAU OF RECLAMATION. Design of Small Dams. 3a Edicao. Department of the Interior, Denver/CO/EUA, 1987, p. 320.

UHE ITAOCARA I

2 ESTRUTURA

2.1. GEOMETRIA

Apresenta-se, a seguir, a geometria da estrutura do Descarregador de Fundo.

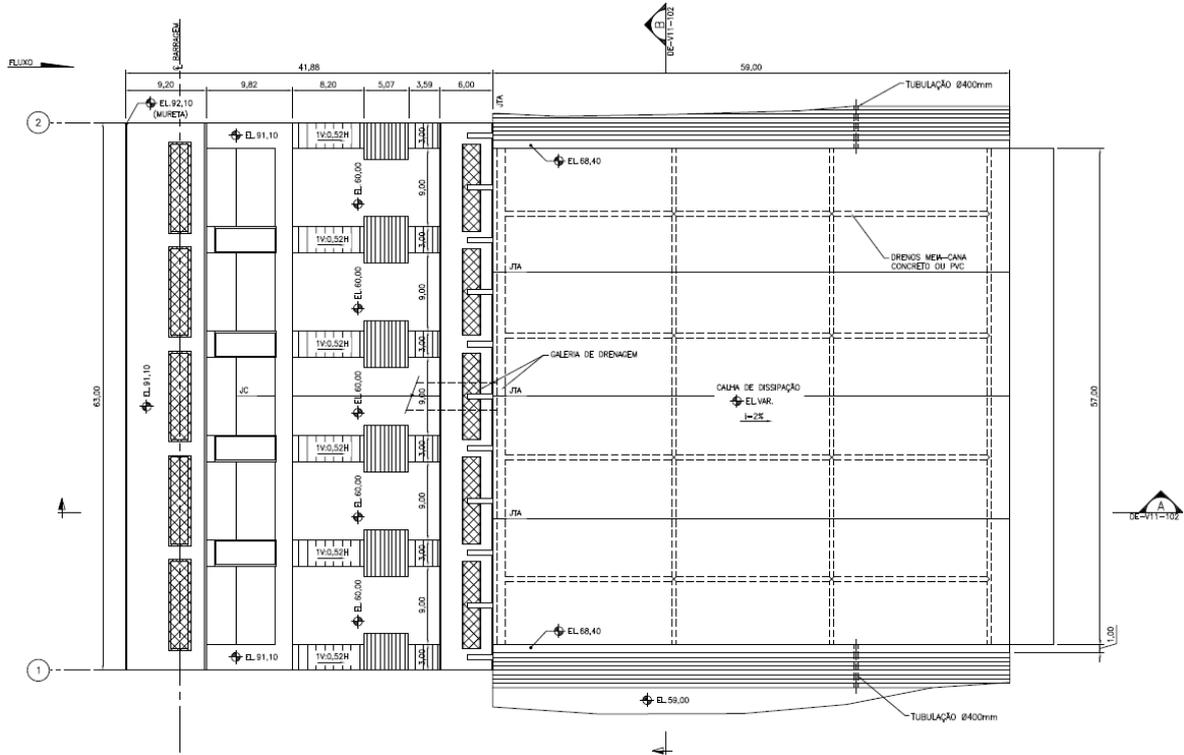


Figura – Descarregador de Fundo – Planta

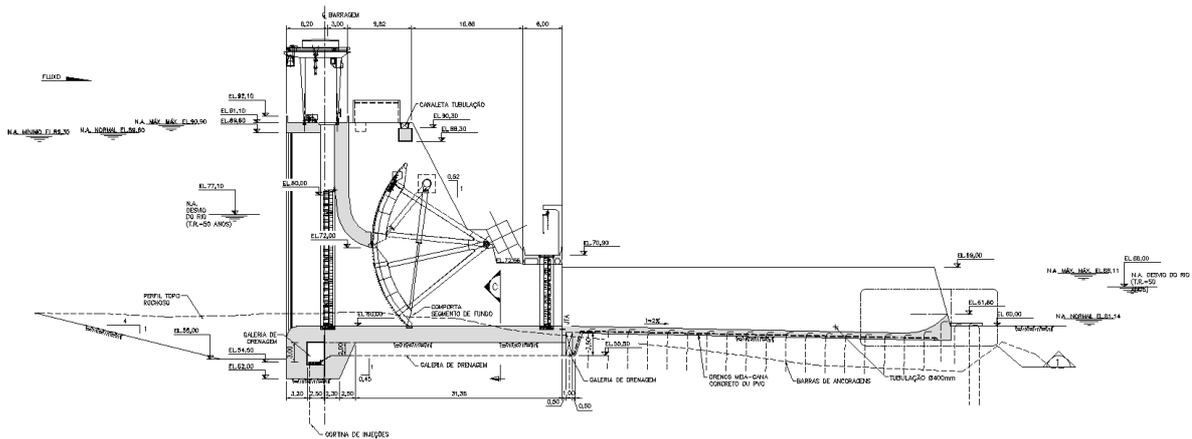


Figura – Descarregador de Fundo – Corte Longitudinal A

### 3 CASOS DE CARREGAMENTO

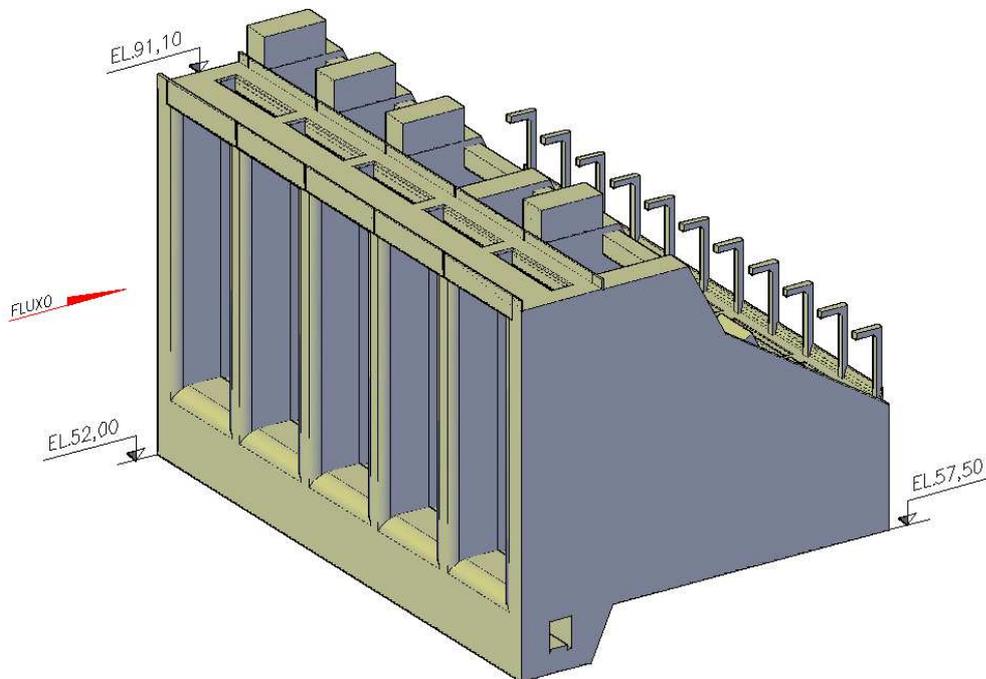
Foram analisados os casos de carregamento conforme especificados na tabela abaixo:

Caso de Carregamento	N.A. Montante	N.A. Jusante	Drenos	Observações
CCN	89,60	61,14	100% Operantes	-
CCE 1	90,90	68,11	100% Operantes	-
CCE 2	89,60	61,14	100% Inoperantes	-
CCE 3	89,60	61,14	100% Operantes	Sismo
CCE 4	89,60	61,14	100% Operantes	1 Vão ensecado
CCL 1	90,90	68,11	100% Inoperantes	-
CCL 2	90,90	68,11	100% Operantes	Sismo
CCL 3	89,60	61,14	100% Inoperantes	Sismo

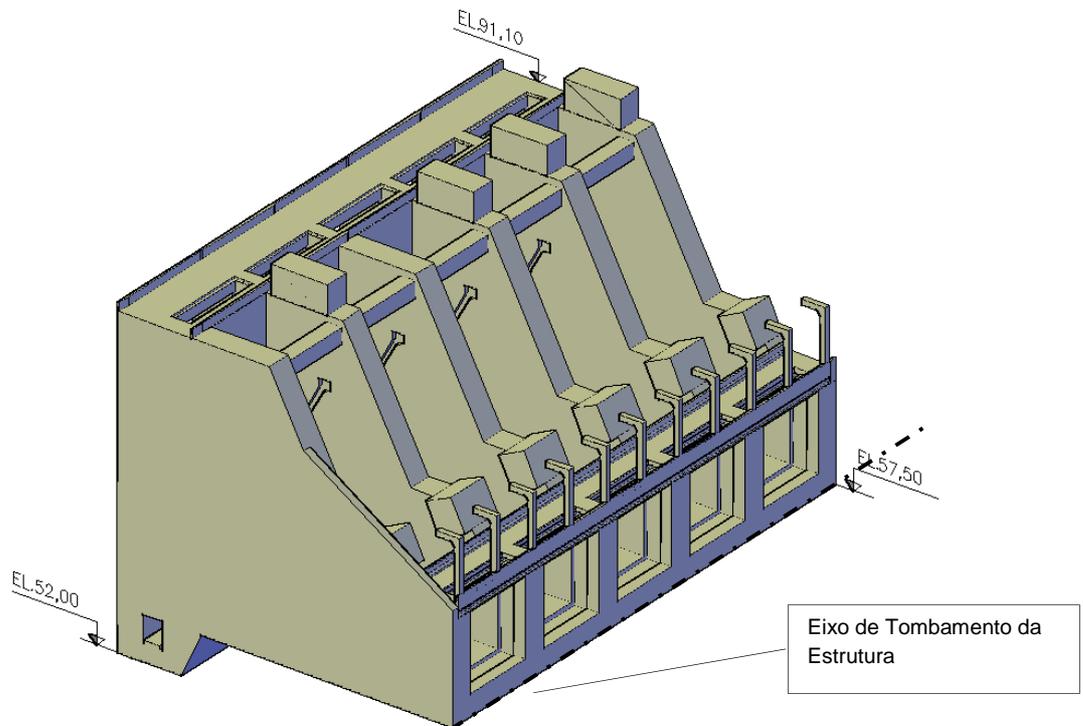
- CCN – Caso de Carregamento Normal: Nível de água máximo normal à montante e à jusante, drenos 100% operantes e comportas segmento fechadas;
- CCE1 – Caso de Carregamento Excepcional 1: Nível de água máximo maximorum (TR=10.000 anos) à montante e à jusante, drenos 100% operantes e comportas segmento fechadas;
- CCE2 – Caso de Carregamento Excepcional 2: Nível de água máximo normal à montante e à jusante, drenos 100% inoperantes e comportas segmento fechadas;
- CCE3 – Caso de Carregamento Excepcional 3: Nível de água máximo normal à montante e à jusante, drenos 100% operantes, comportas segmento fechadas e efeito sísmico;
- CCE4 – Caso de Carregamento Excepcional 4: Nível de água máximo normal à montante e à jusante, drenos 100% operantes, 4 comportas segmento fechadas e 1 vão com comportas ensecadeiras fechadas;
- CCL1 – Caso de Carregamento Limite 1: Nível de água máximo maximorum (TR=10.000 anos) à montante e à jusante, drenos 100% inoperantes e comportas segmento fechadas;
- CCL2 – Caso de Carregamento Limite 2: Nível de água máximo maximorum (TR=10.000 anos) à montante e à jusante, drenos 100% operantes, comportas segmento fechadas e efeito sísmico;
- CCL3 – Caso de Carregamento Limite 3: Nível de água máximo normal à montante e à jusante, drenos 100% inoperantes, comportas segmento fechadas e efeito sísmico.

UHE ITAOCARA I

Apresenta-se no item 4, o cálculo da estabilidade do Descarregador de Fundo da UHE Itaipava I, conforme o modelo apresentado a seguir.



**Figura** – Descarregador de Fundo – Visualização 3D – Vista de montante



**Figura** – Descarregador de Fundo – Visualização 3D – Vista de jusante

UHE ITAOCARA I

3.1. CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN

N.A. Máximo Normal à Montante: ..... 89,60 m

N.A. Máximo Normal à Jusante: ..... 61,14 m

Drenos 100% operantes e comportas segmento fechadas.

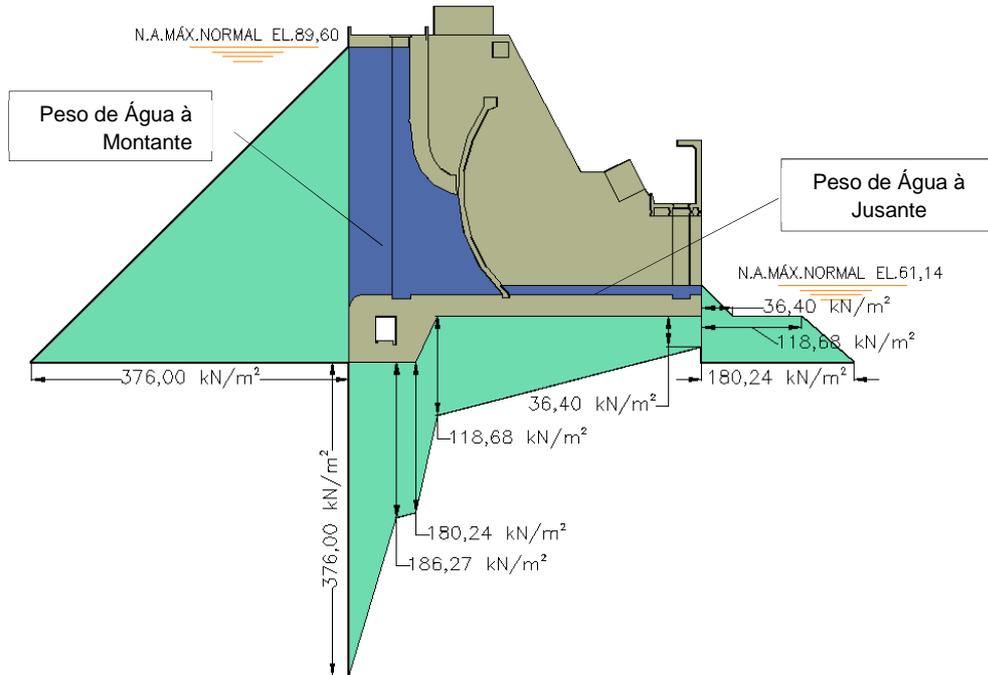


Figura – Carregamentos CCN – Seção

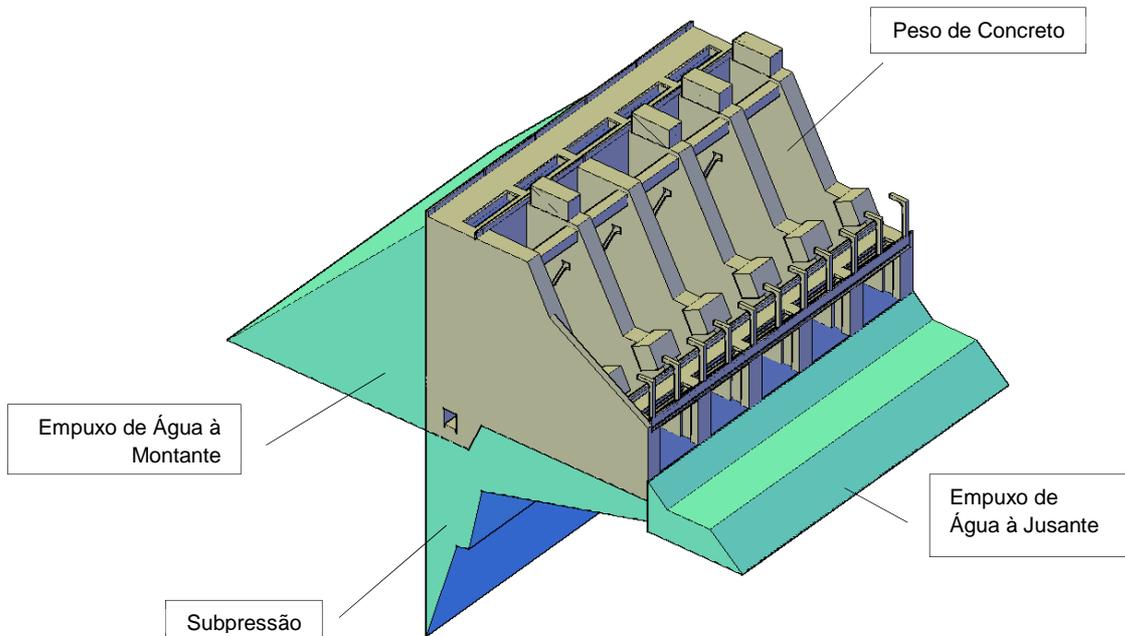


Figura – Carregamentos CCN – Visualização 3D

3.2. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1

N.A. Máximo Maximorum à Montante (TR=10.000 anos): ..... 90,90 m

N.A. Máximo Maximorum à Jusante (TR=10.000 anos): ..... 68,11 m

Drenos 100% operantes e comportas segmento fechadas.

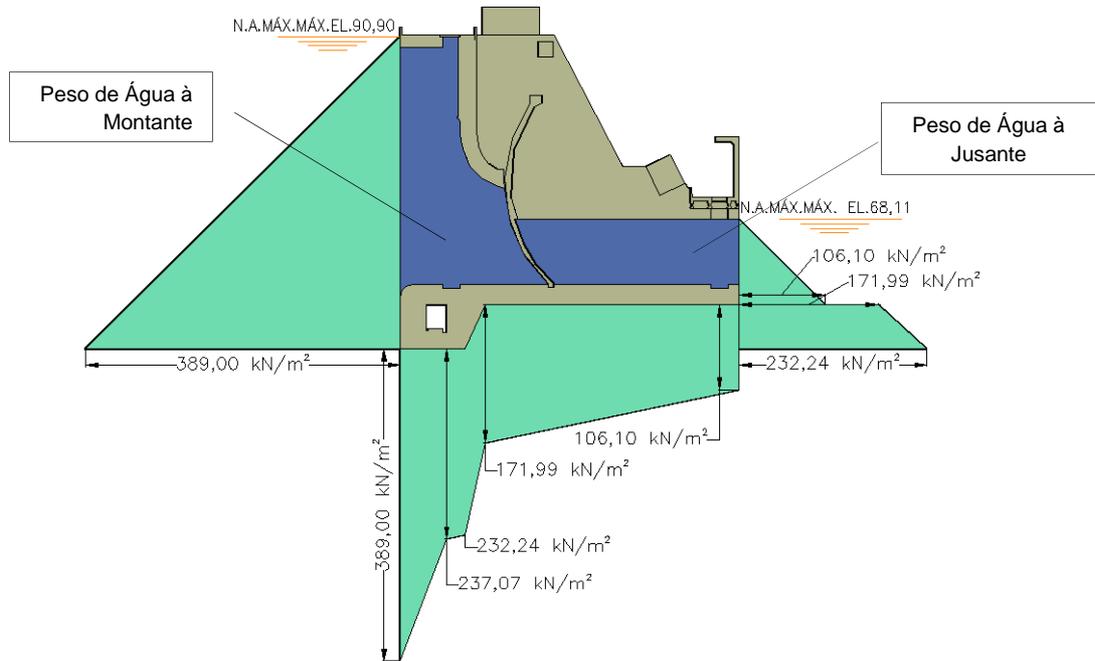


Figura – Carregamentos CCE1 – Seção

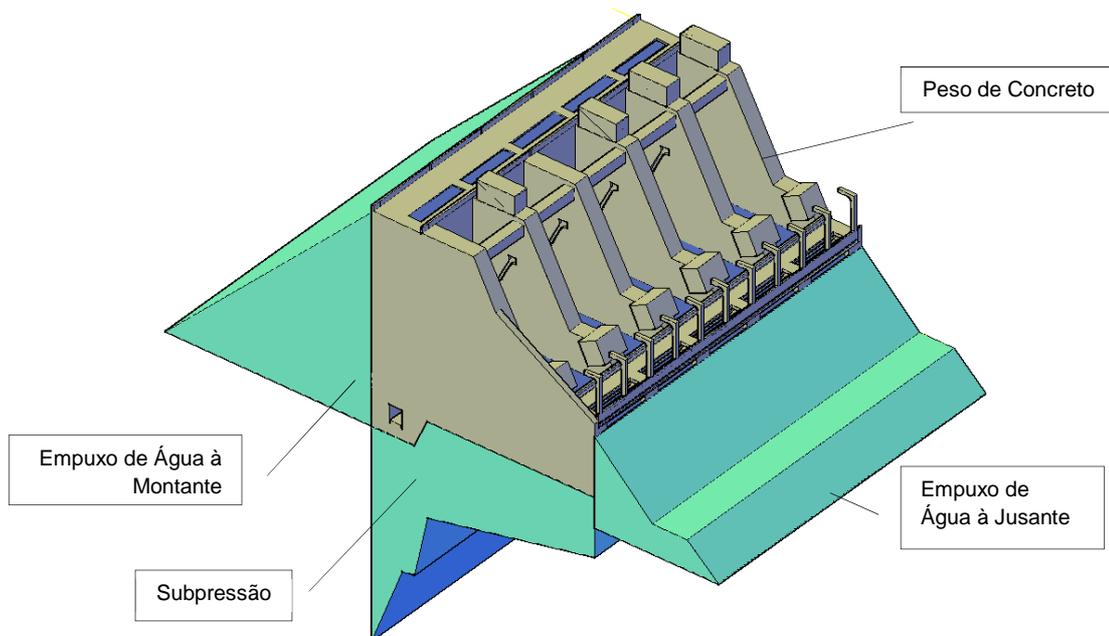


Figura – Carregamentos CCE1 – Visualização 3D

3.3. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2

N.A. Máximo Normal à Montante: ..... 89,60 m

N.A. Máximo Normal à Jusante: ..... 61,14 m

Drenos 100% inoperantes e comportas segmento fechadas.

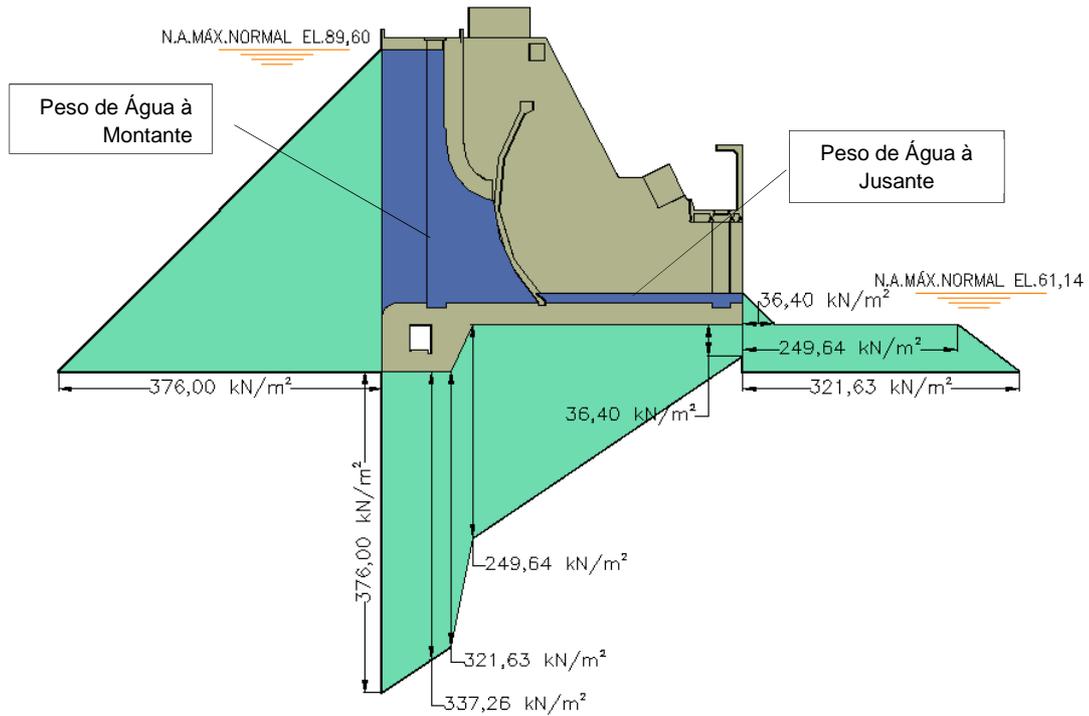


Figura – Carregamentos CCE2 – Seção

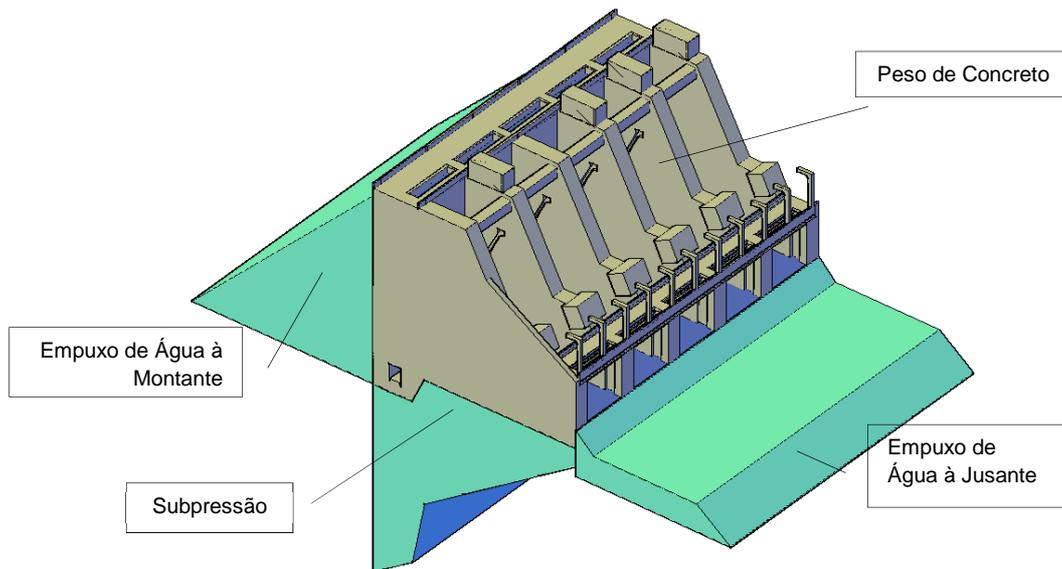


Figura – Carregamentos CCE2 – Visualização 3D

3.4. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3

N.A. Máximo Normal à Montante: ..... 89,60 m

N.A. Máximo Normal à Jusante: ..... 61,14 m

Drenos 100% operantes e comportas segmento fechadas.

Efeito sísmico..... Aceleração horizontal 0,05g e aceleração vertical 0,03g

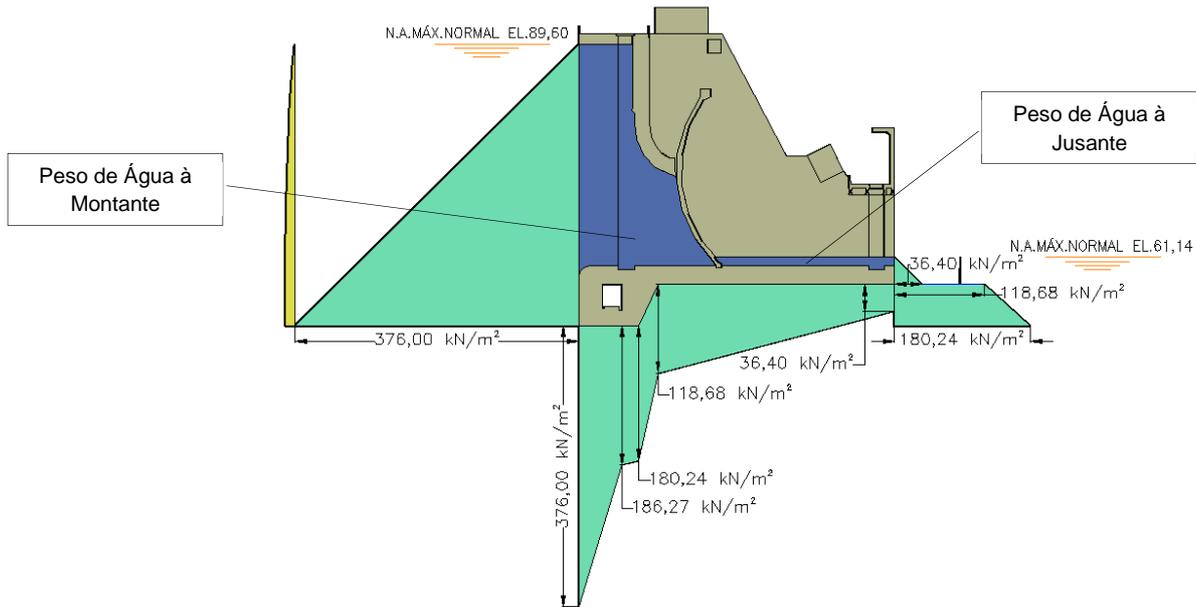


Figura – Carregamentos CCE3 – Seção

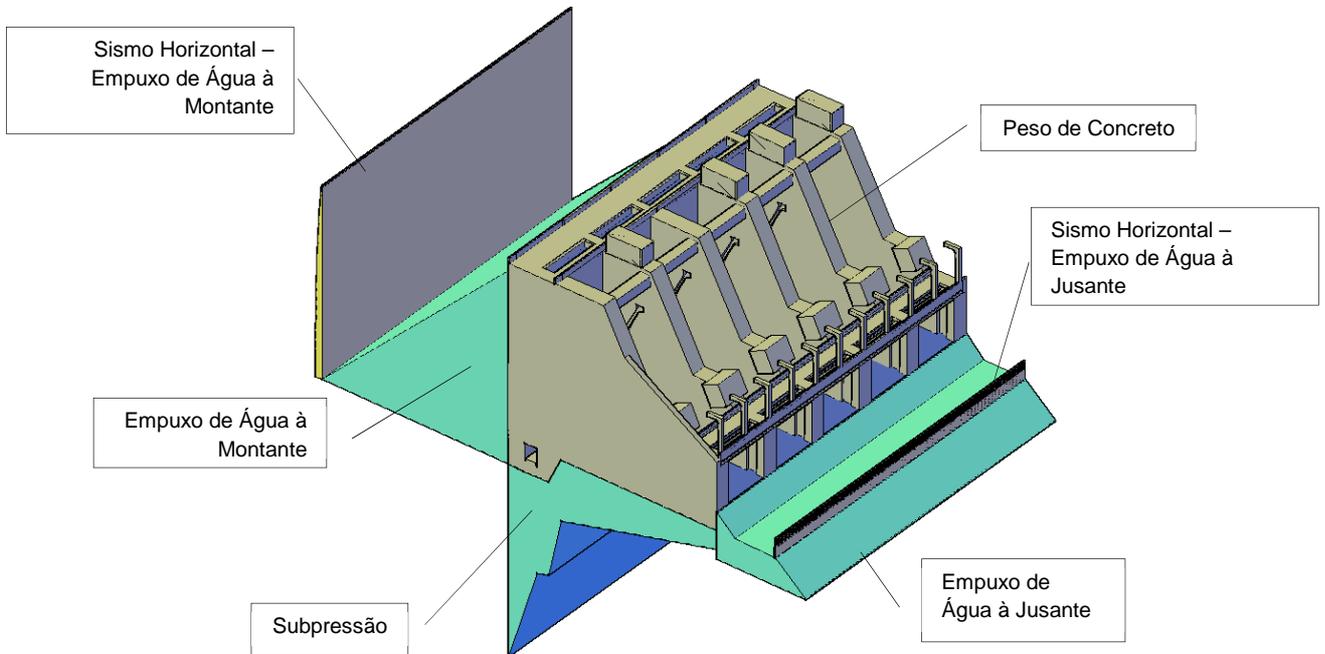


Figura – Carregamentos CCE3 – Visualização 3D

3.5. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4

N.A. Máximo Normal à Montante: ..... 89,60 m

N.A. Máximo Normal à Jusante: ..... 61,14 m

Drenos 100% operantes; quatro comportas segmento fechadas e 1 vão ensecado.

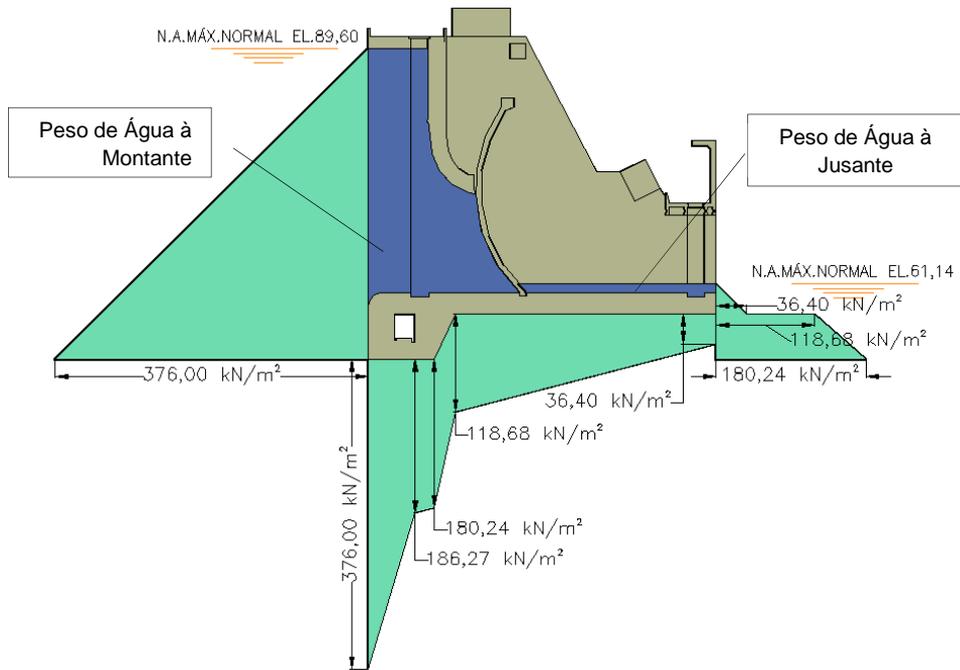


Figura – Carregamentos CCE4 – Seção

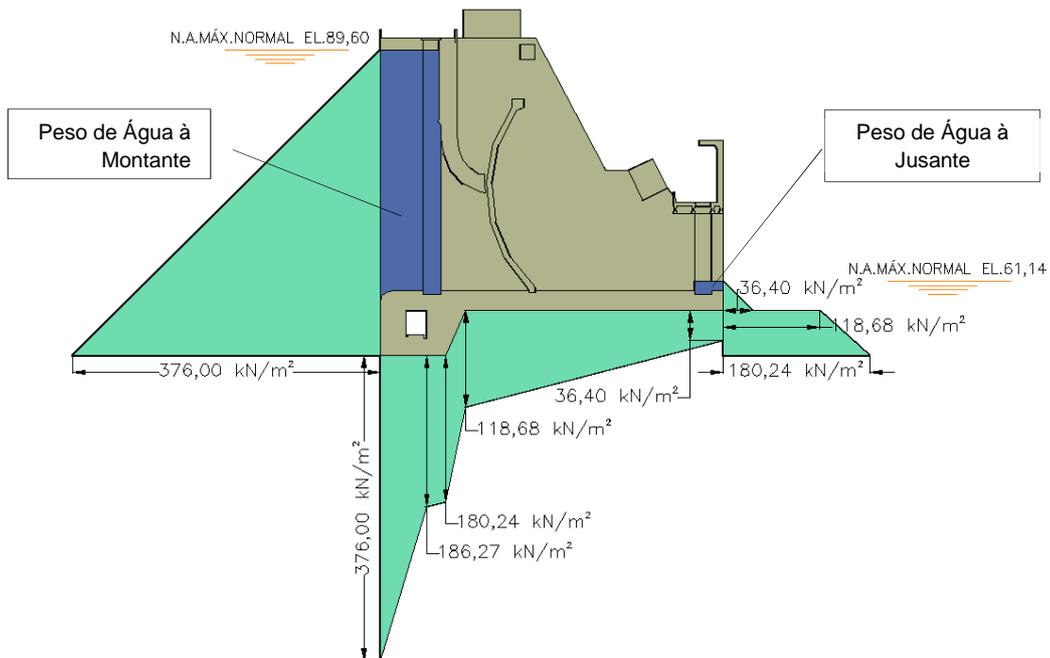
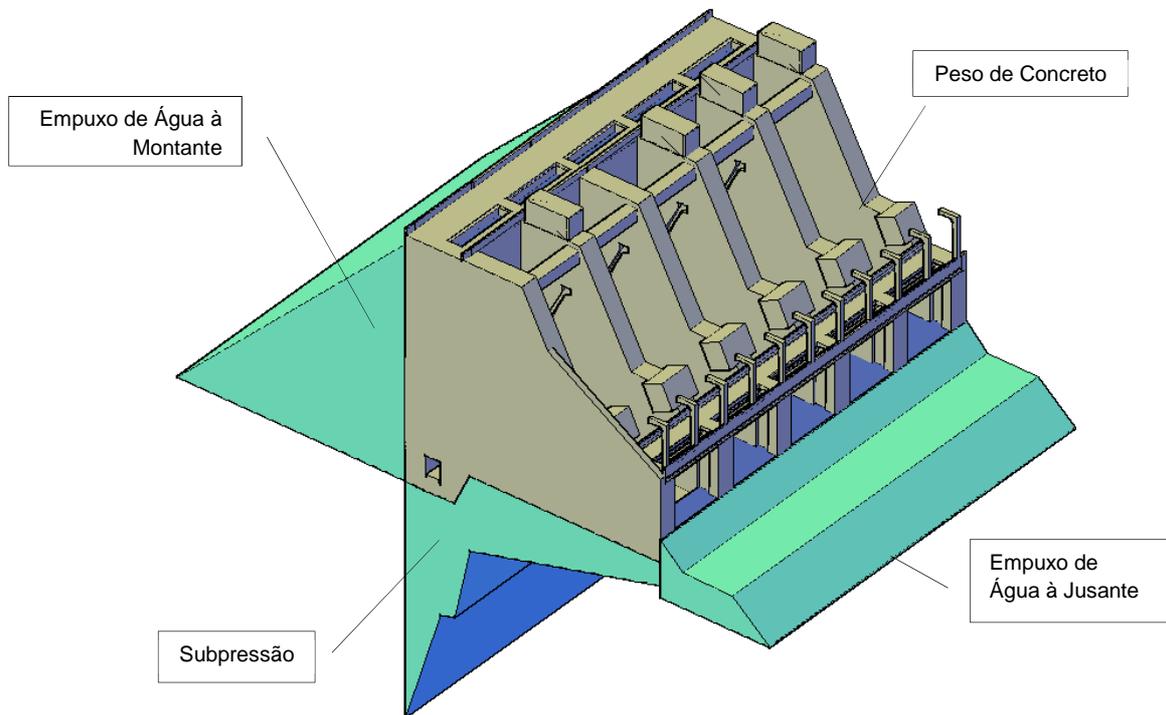


Figura – Carregamentos CCE4 – Seção pelo vão ensecado



**Figura** – Carregamentos CCE4 – Visualização 3D

UHE ITAOCARA I

3.6. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1

N.A. Máximo Maximorum à Montante (TR=10.000 anos): ..... 90,90 m

N.A. Máximo Maximorum à Jusante (TR=10.000 anos): ..... 68,11 m

Drenos 100% inoperantes e comportas segmento fechadas.

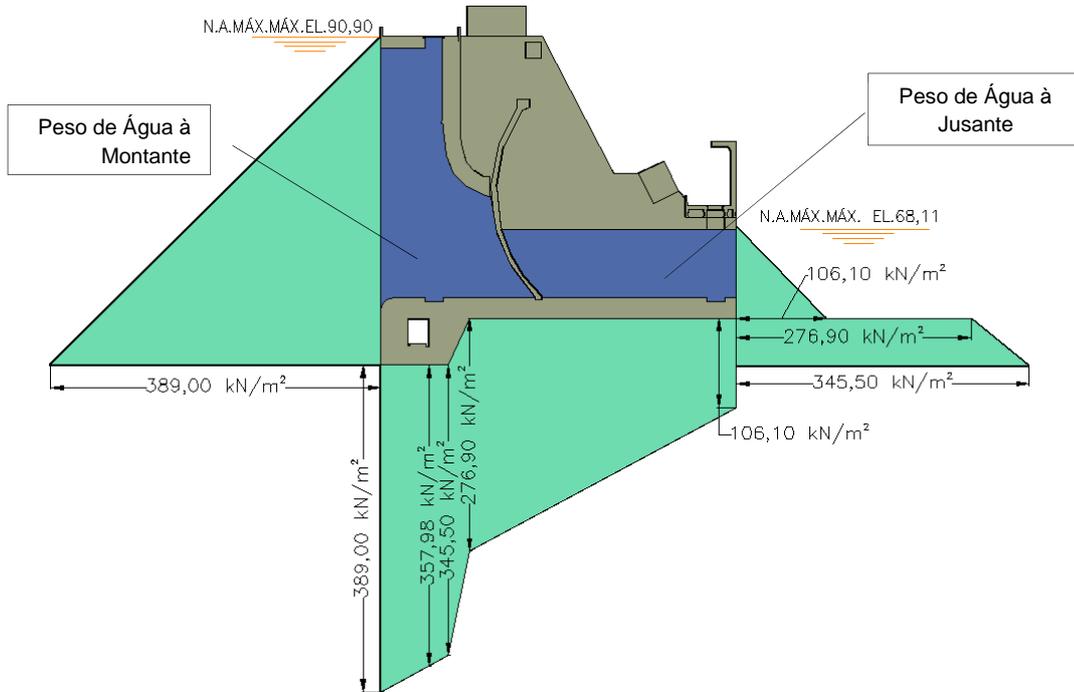


Figura – Carregamentos CCL1 – Seção

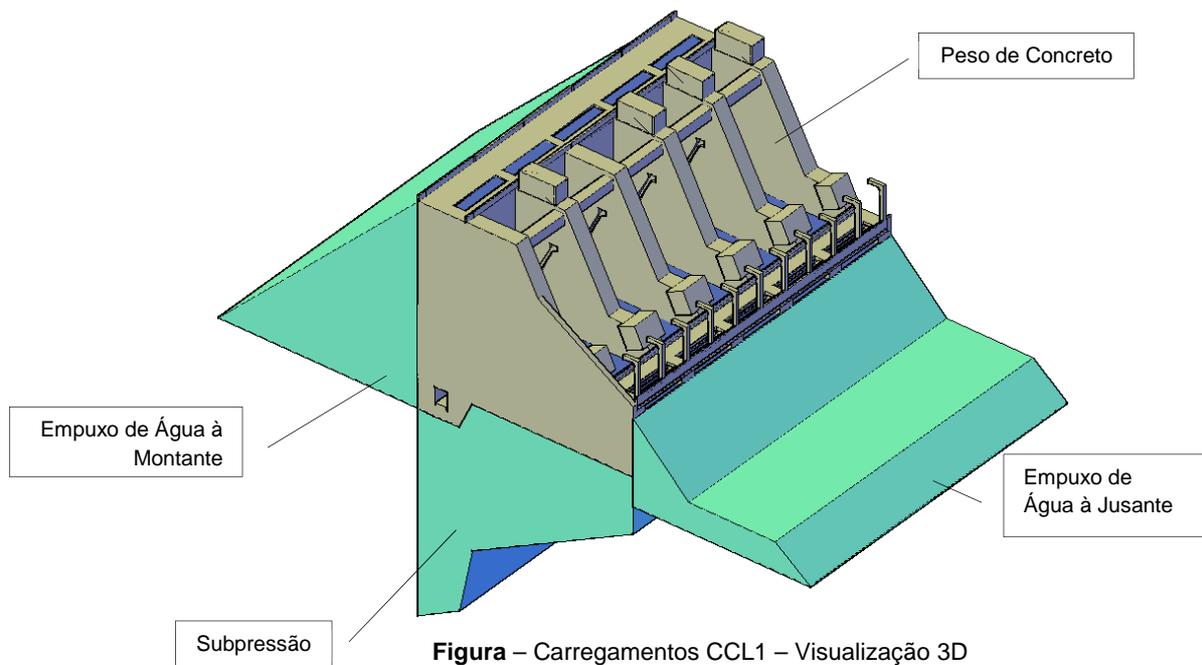


Figura – Carregamentos CCL1 – Visualização 3D

3.7. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2

N.A. Máximo Maximorum à Montante (TR=10.000 anos): ..... 90,90 m

N.A. Máximo Maximorum à Jusante (TR=10.000 anos): ..... 68,11 m

Drenos 100% operantes e comportas segmento fechadas.

Efeito sísmico..... Aceleração horizontal 0,05g e aceleração vertical 0,03g

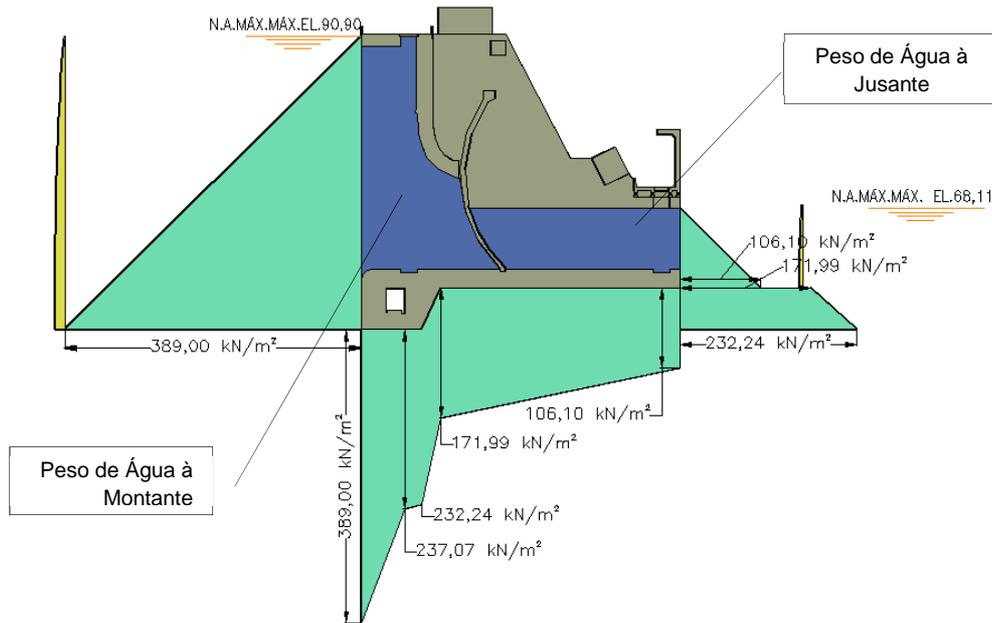


Figura – Carregamentos CCL2 – Seção

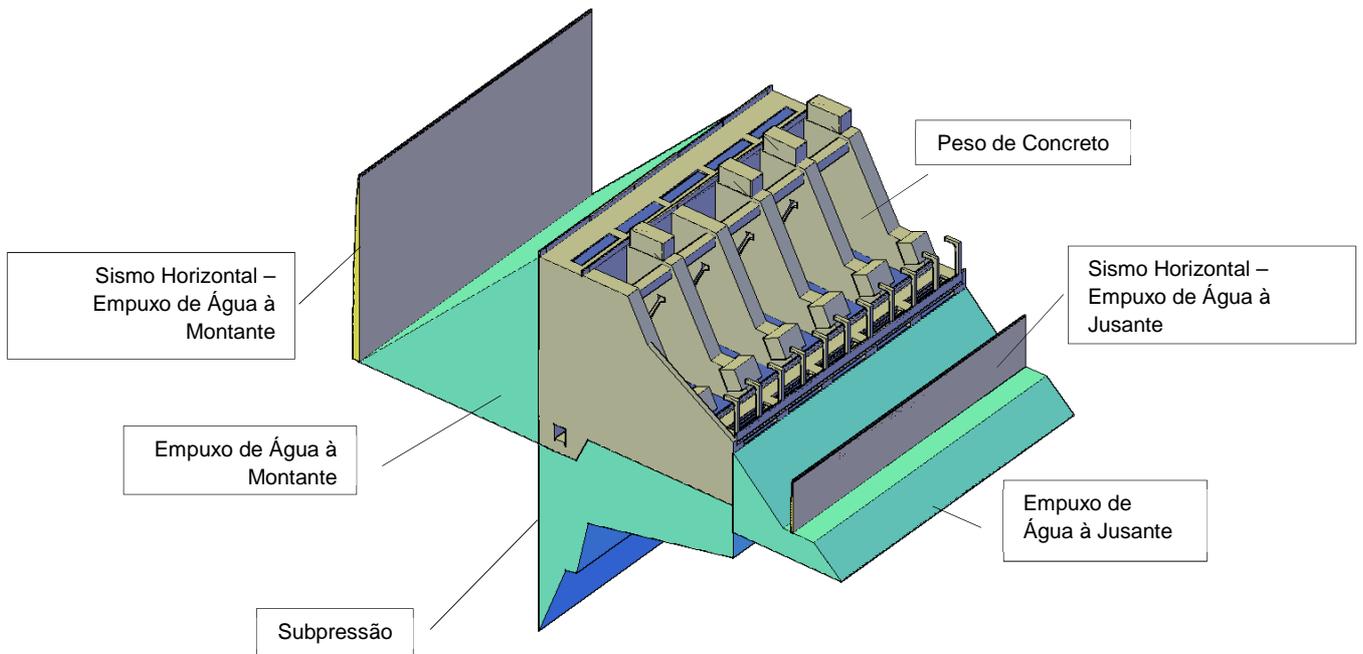


Figura – Carregamentos CCL2 – Visualização 3D

3.8. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3

N.A. Máximo Normal à Montante: ..... 89,60 m

N.A. Máximo Normal à Jusante: ..... 61,14 m

Drenos 100% inoperantes e comportas segmento fechadas.

Efeito sísmico..... Aceleração horizontal 0,05g e aceleração vertical 0,03g

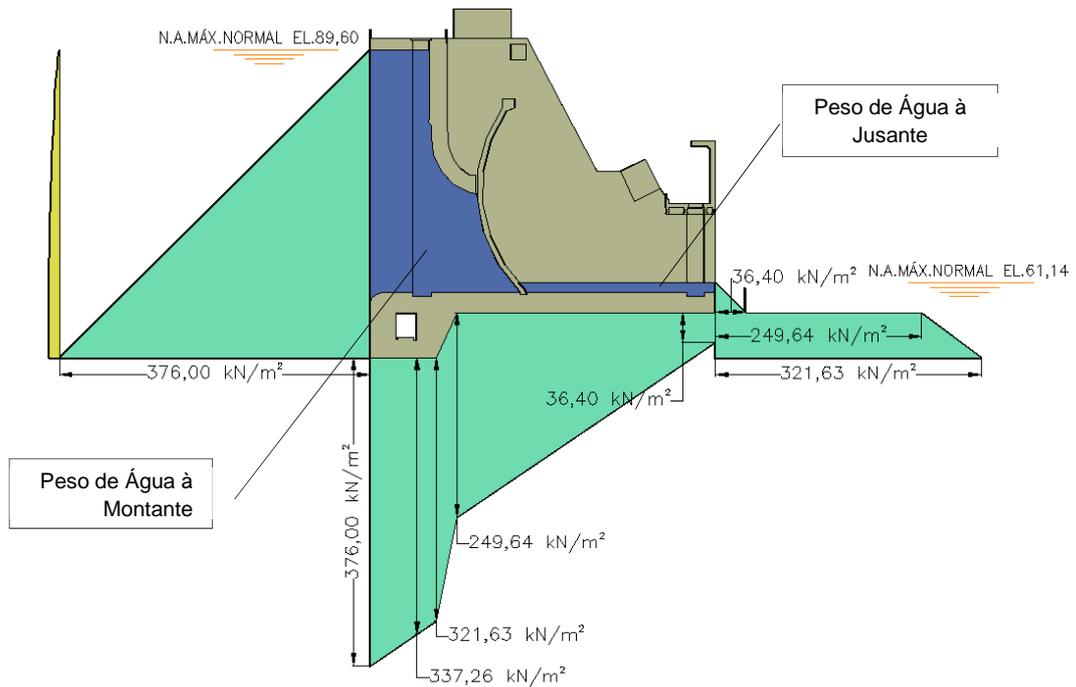


Figura – Carregamentos CCL3 – Seção

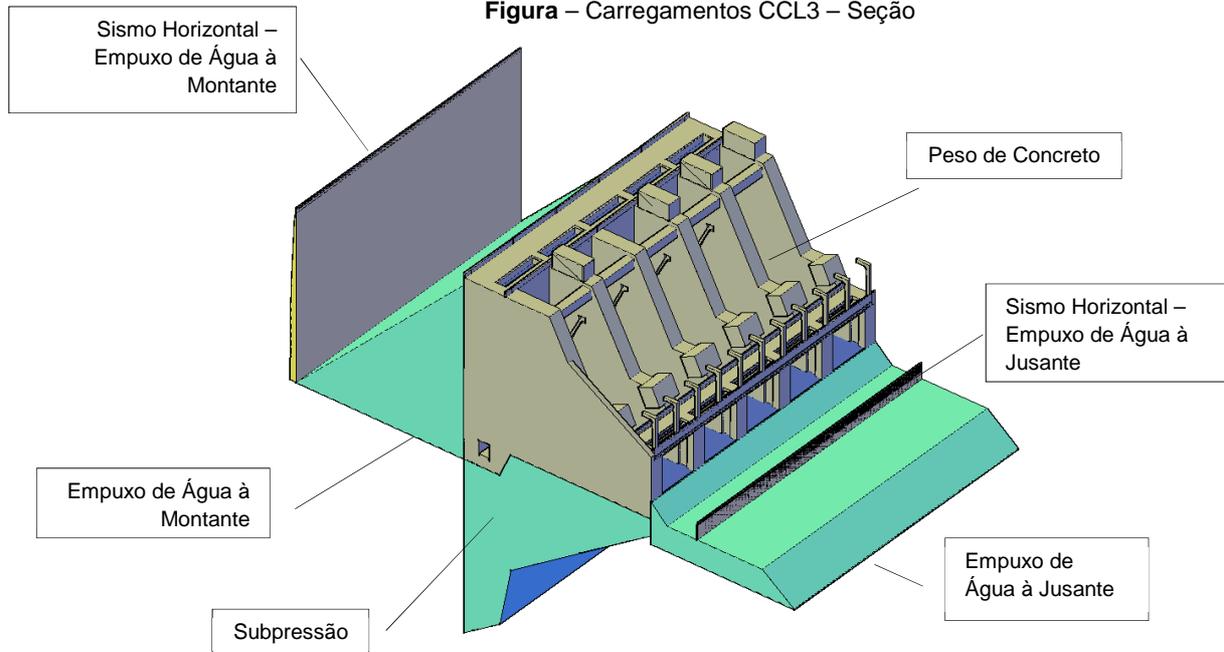


Figura – Carregamentos CCL3 – Visualização 3D

## 4 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Para as hipóteses de Carregamento Normal (CCN), Carregamentos Excepcionais (CCE1, CCE2, CCE3 e CCE4) e Carregamentos Limites (CCL1, CCL2 e CCL3) apresentam-se, a seguir, os respectivos valores dos esforços, e posteriormente, os valores dos coeficientes de segurança.

Para todos os casos de carregamento, foi verificado e adotado o ponto de tombamento (à jusante ou à montante) que proporciona menores coeficientes de segurança.

### 4.1. CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO						
CCN - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m)						
ESFORÇOS	VOLUME (m³)	γ (kN/m³)	FORÇA (kN)	EXCENTRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
				e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	
Peso de Concreto CCV	28.976,79	24,00	V <sub>1</sub> = -695.442,96	25,61		M <sub>1</sub> = 17.810.294,21
Peso de Água à Montante	14.543,57	10,00	V <sub>2</sub> = -145.435,70	35,99		M <sub>2</sub> = 5.234.230,84
Peso de Água à Jusante	1.257,21	10,00	V <sub>3</sub> = -12.572,10	11,16		M <sub>3</sub> = 140.304,64
Empuxo de Água à Montante	44.533,44	10,00	T <sub>1</sub> = 445.334,40		7,03	M <sub>4</sub> = -3.130.700,83
Empuxo de Água à Jusante	5.596,08	10,00	T <sub>2</sub> = -55.960,80		2,63	M <sub>5</sub> = -147.176,90
Subpressão	30.434,04	10,00	U = 304.340,40	27,94		M <sub>6</sub> = -8.503.270,78

PONTO DE TOMBAMENTO X<sub>t</sub> = 41,88 Y<sub>t</sub> = 5,50

$\Sigma V = V_1 + V_2 + V_3$	853.450,76 kN	$\Sigma M_E = M_1 + M_2 + M_3$	
$\Sigma U =$	304.340,40 kN	$\Sigma M_E =$	23.184.829,68 kNxm
$\Sigma V - \Sigma U =$	549.110,36 kN	$\Sigma M_T = M_4 + M_5 + M_6$	
$\Sigma T_{1, \text{MONTANTE}} = T_1$	445.334,40 kN	$\Sigma M_T =$	11.781.148,51 kNxm
$\Sigma T_{1, \text{JUSANTE}} = T_2$	55.960,80 kN		

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\Sigma V}{\Sigma U}$	=	2,80	> 1,30 OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\Sigma M_E}{\Sigma M_T}$	=	1,97	> 1,50 OK

UHE ITAOCARA I

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO					
CCN - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m)					
CÁLCULO DO DESLIZAMENTO CONSIDERANDO TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS PELO PROCESSO DE NIGAM					
	RESULTANTE DA FORÇA VERTICAL - V (kN)	RESULTANTE DA FORÇA HORIZONTAL - H (kN)	$\alpha$ (°)	sen $\alpha$	cos $\alpha$
1 - 2	52.870,74	44.970,20	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	22.840,53	18.145,87	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	62.371,02	50.385,62	65,6	0,9104	0,4138
4 - 5	411.017,13	275.838,57	0,0	0,0000	1,0000

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	52.870,74	44.970,20
2 - 3	22.840,53	18.145,87
3 - 4	71.678,69	-35.930,76
4 - 5	411.017,13	275.838,57
$\Sigma$	558.407,09	303.023,88

DESLIZAMENTO - FSD $\emptyset$ - SEM COESÃO (C=0)				$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	=	1,55	>	1,50
				OK

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL				
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	=	2,29	>	1,00
				OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m <sup>2</sup>				$\phi = 40^\circ$ FSD $\emptyset = 1,50$ FSDc = 3,00 A <sub>i</sub> = 2.861,56 m <sup>2</sup>

UHE ITAOCARA I

4.2. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO CCE 1 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. MAXIMORUM A MONTANTE (EL. 90,90m) E A JUSANTE (EL. 68,11m)						
ESFORÇOS	VOLUME (m³)	γ (kN/m³)	FORÇA (kN)	EXCENTRICIDADE (m)²		MOMENTO (kNxm)
				e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	
Peso de Concreto CCV	28.976,79	24,00	V <sub>1</sub> = -695.442,96	25,61		M <sub>1</sub> = 17.810.294,21
Peso de Água à Montante	14.675,09	10,00	V <sub>2</sub> = -146.750,90	35,99		M <sub>2</sub> = 5.281.564,89
Peso de Água à Jusante	9.512,21	10,00	V <sub>3</sub> = -95.122,10	12,73		M <sub>3</sub> = 1.210.904,33
Empuxo de Água à Montante	47.666,12	10,00	T <sub>1</sub> = 476.661,20		7,47	M <sub>4</sub> = -3.560.659,16
Empuxo de Água à Jusante	10.549,21	10,00	T <sub>2</sub> = -105.492,10		0,73	M <sub>5</sub> = -77.009,23
Subpressão	45.312,60	10,00	U = 453.126,00	24,93		M <sub>6</sub> = -11.296.431,18

PONTO DE TOMBAMENTO  $x_t = 41,88$   $y_t = 5,50$

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3$	937.315,96 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3$
$\sum U =$	453.126,00 kN	$\sum M_E = 24.302.763,43$ kNxm
$\sum V - \sum U =$	484.189,96 kN	
$\sum T_{1, \text{MONTANTE}} = T_1$	476.661,20 kN	$\sum M_T = M_4 + M_5 + M_6$
$\sum T_{1, \text{JUSANTE}} = T_2$	105.492,10 kN	$\sum M_T = 14.934.099,58$ kNxm

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	2,07 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,63 > 1,20	OK

UHE ITAOCARA I

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO					
CCE 1 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. MAXIMORUM A MONTANTE (EL. 90,90m) E A JUSANTE (EL. 68,11m)					
CÁLCULO DO DESLIZAMENTO CONSIDERANDO TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS PELO PROCESSO DE NIGAM					
	RESULTANTE DA FORÇA VERTICAL - V (kN)	RESULTANTE DA FORÇA HORIZONTAL - H (kN)	$\alpha$ (°)	sen $\alpha$	cos $\alpha$
1 - 2	36.183,37	40.612,72	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	16.909,39	16.387,59	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	48.055,96	47.216,04	65,6	0,9104	0,4138
4 - 5	383.024,47	266.901,65	0,0	0,0000	1,0000

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	36.183,37	40.612,72
2 - 3	16.909,39	16.387,59
3 - 4	62.869,60	-24.210,40
4 - 5	383.024,47	266.901,65
$\Sigma$	498.986,83	299.691,57

DESLIZAMENTO - FSD $\emptyset$ - SEM COESÃO (C=0)			$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	=	1,40 > 1,10	OK

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL			
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	=	3,82 > 1,00	OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m <sup>2</sup>			$\phi = 40^\circ$ FSD $\emptyset$ = 1,10 FSDc = 1,50 A <sub>i</sub> = 2.861,56 m <sup>2</sup>

UHE ITAOCARA I

4.3. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO CCE 2 - DRENOS 100% INOPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m)						
ESFORÇOS	VOLUME (m³)	γ (kN/m³)	FORÇA (kN)	EXCENTRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
				e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	
Peso de Concreto CCV	28.976,79	24,00	V <sub>1</sub> = -695.442,96	25,61		M <sub>1</sub> = 17.810.294,21
Peso de Água à Montante	14.543,57	10,00	V <sub>2</sub> = -145.435,70	35,99		M <sub>2</sub> = 5.234.230,84
Peso de Água à Jusante	1.257,21	10,00	V <sub>3</sub> = -12.572,10	11,15		M <sub>3</sub> = 140.178,92
Empuxo de Água à Montante	44.533,44	10,00	T <sub>1</sub> = 445.334,40		7,03	M <sub>4</sub> = -3.130.700,83
Empuxo de Água à Jusante	10.314,71	10,00	T <sub>2</sub> = -103.147,10		2,70	M <sub>5</sub> = -278.497,17
Subpressão	50.354,05	10,00	U = 503.540,50	27,18		M <sub>6</sub> = -13.686.230,79

PONTO DE TOMBAMENTO  $x_t = 41,88$   $y_t = 5,50$

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3$	853.450,76 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3$
$\sum U =$	503.540,50 kN	$\sum M_E = 23.184.703,96$ kNxm
$\sum V - \sum U =$	349.910,26 kN	
$\sum T_{1, \text{MONTANTE}} = T_1$	445.334,40 kN	$\sum M_T = M_4 + M_5 + M_6$
$\sum T_{1, \text{JUSANTE}} = T_2$	103.147,10 kN	$\sum M_T = 17.095.428,79$ kNxm

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	1,69 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,36 > 1,20	OK

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO					
CCE 2 - DRENOS 100% INOPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m)					
CÁLCULO DO DESLIZAMENTO CONSIDERANDO TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS PELO PROCESSO DE NIGAM					
	RESULTANTE DA FORÇA VERTICAL - V (kN)	RESULTANTE DA FORÇA HORIZONTAL - H (kN)	$\alpha$ (°)	sen $\alpha$	cos $\alpha$
1 - 2	14.908,17	35.901,89	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	8.740,32	14.486,73	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	27.252,94	42.973,57	65,6	0,9104	0,4138
4 - 5	298.989,03	248.764,83	0,0	0,0000	1,0000

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	14.908,17	35.901,89
2 - 3	8.740,32	14.486,73
3 - 4	50.399,05	-7.027,58
4 - 5	298.989,03	248.764,83
$\Sigma$	373.036,57	292.125,86

**DESLIZAMENTO - FSD $\phi$  - SEM COESÃO (C=0)**  $\phi = 40^\circ$

$$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i} = 1,07 < 1,10 \quad \text{VERIFICAR COESÃO}$$
  

**DESLIZAMENTO - FSD<sub>c</sub> - COM COESÃO**

$$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{CSD}_{\phi} \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{CSD}_c \times \sum T_i} = 1,00 > 1,00 \quad \text{OK}$$

$\phi = 40^\circ$   
FSD $\phi = 1,10$   
FSD<sub>c</sub> = 1,50  
A<sub>i</sub> = 2.861,56 m<sup>2</sup>

A COESÃO NECESSÁRIA É C = 4 kN/m<sup>2</sup>  
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m<sup>2</sup>

**DESLIZAMENTO - FSD<sub>c</sub> - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL**

$$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}_{\phi} \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSD}_c \times \sum T_i} = 3,59 > 1,00 \quad \text{OK}$$

$\phi = 40^\circ$   
FSD $\phi = 1,10$   
FSD<sub>c</sub> = 1,50  
A<sub>i</sub> = 2.861,56 m<sup>2</sup>

A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m<sup>2</sup>

UHE ITAOCARA I

4.4. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO CCE 3 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m) - COM SISMO							
ESFORÇOS	VOLUME (m³)	γ (kN/m³)	g (9,81m/s²)	FORÇA (kN)	EXCENRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
					e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	
Peso de Concreto CCV	28.976,79	24,00		V <sub>1</sub> = -695.442,96	25,61		M <sub>1</sub> = 17.810.294,21
Peso de Água à Montante	14.543,57	10,00		V <sub>2</sub> = -145.435,70	35,99		M <sub>2</sub> = 5.234.230,84
Peso de Água à Jusante	1.257,21	10,00		V <sub>3</sub> = -12.572,10	11,15		M <sub>3</sub> = 140.178,92
Empuxo de Água à Montante	44.533,44	10,00		T <sub>1</sub> = 445.334,40		7,03	M <sub>4</sub> = -3.130.700,83
Empuxo de Água à Jusante	5.596,08	10,00		T <sub>2</sub> = -55.960,80		2,63	M <sub>5</sub> = -147.176,90
Sismo Horizontal - Peso de Concreto	28.976,79	24,00	0,05	T <sub>3</sub> = 34.772,15		11,59	M <sub>6</sub> = -403.009,20
Sismo Vertical - Peso de Concreto	28.976,79	24,00	0,03	V <sub>4</sub> = 20.863,29	25,61		M <sub>7</sub> = -534.308,83
Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	14.543,57	10,00	0,03	V <sub>5</sub> = 4.363,07	35,99		M <sub>8</sub> = -157.026,93
Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	1.257,21	10,00	0,03	V <sub>6</sub> = 377,16	11,15		M <sub>9</sub> = -4.205,37
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante	2.322,97	10,00	1,00	T <sub>4</sub> = 23.229,70		9,60	M <sub>10</sub> = -223.005,12
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante	21,77	10,00	1,00	T <sub>5</sub> = 217,70		1,46	M <sub>11</sub> = -317,84
Subpressão	30.434,04	10,00		U = 304.340,40	27,94		M <sub>12</sub> = -8.503.270,78

PONTO DE TOMBAMENTO  $X_t = 41,88$   $Y_t = 5,50$

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6$	827.847,24 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3$	
$\sum U =$	304.340,40 kN	$\sum M_E =$	23.184.703,96 kNxm
$\sum V - \sum U =$	523.506,84 kN	$\sum M_T = M_4 + M_5 + M_6 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10} + M_{11} + M_{12}$	
$\sum T_{i, \text{MONTANTE}} = T_1 + T_3 + T_4 + T_5$	503.553,95 kN	$\sum M_T =$	13.103.021,79 kNxm
$\sum T_{i, \text{JUSANTE}} = T_2$	55.960,80 kN		

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	2,72 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,77 > 1,20	OK

UHE ITAOCARA I

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO					
CCE 3 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m) - COM SISMO					
CÁLCULO DO DESLIZAMENTO CONSIDERANDO TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS PELO PROCESSO DE NIGAM					
	RESULTANTE DA FORÇA VERTICAL - V (kN)	RESULTANTE DA FORÇA HORIZONTAL - H (kN)	$\alpha$ (°)	sen $\alpha$	cos $\alpha$
1 - 2	37.545,65	49.336,34	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	17.794,63	19.907,65	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	50.910,11	57.068,31	65,6	0,9104	0,4138
4 - 5	417.237,23	321.222,33	0,0	0,0000	1,0000

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	37.545,65	49.336,34
2 - 3	17.794,63	19.907,65
3 - 4	73.019,84	-22.731,82
4 - 5	417.237,23	321.222,33
$\Sigma$	545.597,35	367.734,49

DESLIZAMENTO - FSD $\phi$ - SEM COESÃO (C=0)				$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	=	1,24	>	1,10
				OK

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL				
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\sum T_i}$	=	3,21	>	1,00
				OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m <sup>2</sup>				$\phi = 40^\circ$ FSD $\phi = 1,10$ FSDc = 1,50 A <sub>i</sub> = 2.861,56 m <sup>2</sup>

UHE ITAOCARA I

4.5. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO CCE 4 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m) - 1 VÃO ENSECADO						
ESFORÇOS	VOLUME (m³)	γ (kN/m³)	FORÇA (kN)	EXCENTRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
				e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	
Peso de Concreto CCV	28.976,79	24,00	V <sub>1</sub> = -695.442,96	25,61		M <sub>1</sub> = 17.810.294,21
Peso de Água à Montante	13.677,64	10,00	V <sub>2</sub> = -136.776,40	36,31		M <sub>2</sub> = 4.966.351,08
Peso de Água à Jusante	1.054,11	10,00	V <sub>3</sub> = -10.541,10	10,73		M <sub>3</sub> = 113.106,00
Empuxo de Água à Montante	44.533,44	10,00	T <sub>1</sub> = 445.334,40		7,03	M <sub>4</sub> = -3.130.700,83
Empuxo de Água à Jusante	5.596,08	10,00	T <sub>2</sub> = -55.960,80		2,63	M <sub>5</sub> = -147.176,90
Subpressão	30.434,04	10,00	U = 304.340,40	27,94		M <sub>6</sub> = -8.503.270,78

PONTO DE TOMBAMENTO  $x_t = 41,88$   $y_t = 5,50$

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3$	842.760,46 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3$	
$\sum U =$	304.340,40 kN	$\sum M_E =$	22.889.751,29 kNxm
$\sum V - \sum U =$	538.420,06 kN	$\sum M_T = M_4 + M_5 + M_6$	
$\sum T_{1, \text{MONTANTE}} = T_1$	445.334,40 kN	$\sum M_T =$	11.781.148,51 kNxm
$\sum T_{1, \text{JUSANTE}} = T_2$	55.960,80 kN		

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	2,77 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,94 > 1,20	OK

UHE ITAOCARA I

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO					
CCE 4 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m) - 1 VÃO ENSECADO					
CÁLCULO DO DESLIZAMENTO CONSIDERANDO TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS PELO PROCESSO DE NIGAM					
	RESULTANTE DA FORÇA VERTICAL - V	RESULTANTE DA FORÇA HORIZONTAL - H	$\alpha$ (°)	sen $\alpha$	cos $\alpha$
1 - 2	50.642,49	44.754,97	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	22.024,72	18.059,02	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	60.359,37	50.307,94	65,6	0,9104	0,4138
4 - 5	405.381,94	276.216,48	0,0	0,0000	1,0000

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	50.642,49	44.754,97
2 - 3	22.024,72	18.059,02
3 - 4	70.775,55	-34.131,57
4 - 5	405.381,94	276.216,48
$\Sigma$	548.824,69	304.898,90

DESLIZAMENTO - FSD $\emptyset$ - SEM COESÃO (C=0)				$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	=	1,51	>	1,10
				OK

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL				
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD} \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSD} \times \sum T_i}$	=	3,88	>	1,00
				OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m <sup>2</sup>				$\phi = 40^\circ$ FSD $\emptyset$ = 1,10 FSDc = 1,50 A <sub>i</sub> = 2.861,56 m <sup>2</sup>

UHE ITAOCARA I

4.6. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO CCL 1 - DRENOS 100% INOPERANTES - N.A. MÁX. MAXIMORUM A MONTANTE (EL. 90,90m) E A JUSANTE (EL. 68,11m)						
ESFORÇOS	VOLUME (m³)	γ (kN/m³)	FORÇA (kN)	EXCENTRICIDADE (m)²		MOMENTO (kNxm)
				e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	
Peso de Concreto CCV	28.976,79	24,00	V <sub>1</sub> = -695.442,96	25,61		M <sub>1</sub> = 17.810.294,21
Peso de Água à Montante	14.675,09	10,00	V <sub>2</sub> = -146.750,90	35,99		M <sub>2</sub> = 5.281.564,89
Peso de Água à Jusante	9.512,21	10,00	V <sub>3</sub> = -95.122,10	12,73		M <sub>3</sub> = 1.210.904,33
Empuxo de Água à Montante	47.666,12	10,00	T <sub>1</sub> = 476.661,20		7,47	M <sub>4</sub> = -3.560.659,16
Empuxo de Água à Jusante	14.327,77	10,00	T <sub>2</sub> = -143.277,70		1,27	M <sub>5</sub> = -181.962,68
Subpressão	61.264,00	10,00	U = 612.640,00	25,21		M <sub>6</sub> = -15.444.654,40

PONTO DE TOMBAMENTO X<sub>t</sub> = 41,88 Y<sub>t</sub> = 5,50

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3$	937.315,96 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3$
$\sum U =$	612.640,00 kN	$\sum M_E =$ 24.302.763,43 kNxm
$\sum V - \sum U =$	324.675,96 kN	
$\sum T_i, \text{MONTANTE} = T_1$	476.661,20 kN	$\sum M_T = M_4 + M_5 + M_6$
$\sum T_i, \text{JUSANTE} = T_2$	143.277,70 kN	$\sum M_T =$ 19.187.276,24 kNxm

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	1,53 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,27 > 1,10	OK

UHE ITAOCARA I

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO					
CCL 1 - DRENOS 100% INOPERANTES - N.A. MÁX. MAXIMORUM A MONTANTE (EL. 90,90m) E A JUSANTE (EL. 68,11m)					
CÁLCULO DO DESLIZAMENTO CONSIDERANDO TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS PELO PROCESSO DE NIGAM					
	RESULTANTE DA FORÇA VERTICAL - V (kN)	RESULTANTE DA FORÇA HORIZONTAL - H (kN)	$\alpha$ (°)	sen $\alpha$	cos $\alpha$
1 - 2	5.819,37	33.359,64	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	5.629,28	13.460,91	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	19.957,91	41.283,76	65,6	0,9104	0,4138
4 - 5	293.245,57	245.206,59	0,0	0,0000	1,0000

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	5.819,37	33.359,64
2 - 3	5.629,28	13.460,91
3 - 4	45.841,99	-1.085,67
4 - 5	293.245,57	245.206,59
$\Sigma$	350.536,22	290.941,47

DESLIZAMENTO - FSD $\emptyset$ - SEM COESÃO (C=0)		$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	= 1,01 < 1,10	VERIFICAR COESÃO

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL	
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSDc} \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \sum T_i}$	= 3,95 > 1,00 OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m <sup>2</sup>	
$\phi = 40^\circ$	
FSD $\emptyset$ = 1,10	
FSDc = 1,30	
A <sub>i</sub> = 2.861,56 m <sup>2</sup>	

UHE ITAOCARA I

4.7. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO CCL 2 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. MAXIMORUM A MONTANTE (EL. 90,90m) E A JUSANTE (EL. 68,11m) - COM SISMO							
ESFORÇOS	VOLUME (m³)	γ (kN/m³)	g (9,81m/s²)	FORÇA (kN)	EXCENRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
					e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	
Peso de Concreto CCV	28.976,79	24,00		V <sub>1</sub> = -695.442,96	25,61		M <sub>1</sub> = 17.810.294,21
Peso de Água à Montante	14.675,09	10,00		V <sub>2</sub> = -146.750,90	35,99		M <sub>2</sub> = 5.281.564,89
Peso de Água à Jusante	9.512,21	10,00		V <sub>3</sub> = -95.122,10	12,73		M <sub>3</sub> = 1.210.904,33
Empuxo de Água à Montante	47.666,12	10,00		T <sub>1</sub> = 476.661,20		7,47	M <sub>4</sub> = -3.560.659,16
Empuxo de Água à Jusante	10.549,21	10,00		T <sub>2</sub> = -105.492,10		0,73	M <sub>5</sub> = -77.009,23
Sismo Horizontal - Peso de Concreto	28.976,79	24,00	0,05	T <sub>3</sub> = 34.772,15		11,59	M <sub>6</sub> = -403.009,20
Sismo Vertical - Peso de Concreto	28.976,79	24,00	0,03	V <sub>4</sub> = 20.863,29	25,61		M <sub>7</sub> = -534.308,83
Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	14.675,09	10,00	0,03	V <sub>5</sub> = 4.402,53	35,99		M <sub>8</sub> = -158.446,95
Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	9.512,21	10,00	0,03	V <sub>6</sub> = 2.853,66	12,73		M <sub>9</sub> = -36.327,13
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante	2.486,38	10,00	1,00	T <sub>4</sub> = 24.863,80		10,12	M <sub>10</sub> = -251.621,66
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante	184,97	10,00	1,00	T <sub>5</sub> = 1.849,70		4,26	M <sub>11</sub> = -7.879,72
Subpressão	45.312,60	10,00		U = 453.126,00	24,93		M <sub>12</sub> = -11.296.431,18

PONTO DE TOMBAMENTO  $X_t = 41,88$   $Y_t = 5,50$

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6$	909.196,48 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3$	
$\sum U =$	453.126,00 kN	$\sum M_E =$	24.302.763,43 kNxm
$\sum V - \sum U =$	456.070,48 kN	$\sum M_T = M_4 + M_5 + M_6 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10} + M_{11} + M_{12}$	
$\sum T_{i, \text{MONTANTE}} = T_1 + T_3 + T_4 + T_5$	538.146,85 kN	$\sum M_T =$	16.325.693,05 kNxm
$\sum T_{i, \text{JUSANTE}} = T_2$	105.492,10 kN		

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	2,01	> 1,10 OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,49	> 1,10 OK

UHE ITAOCARA I

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO					
CCL 2 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. MAXIMORUM A MONTANTE (EL. 90,90m) E A JUSANTE (EL. 68,11m) - COM SISMO					
CÁLCULO DO DESLIZAMENTO CONSIDERANDO TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS PELO PROCESSO DE NIGAM					
	RESULTANTE DA FORÇA VERTICAL - V (kN)	RESULTANTE DA FORÇA HORIZONTAL - H (kN)	$\alpha$ (°)	sen $\alpha$	cos $\alpha$
1 - 2	20.269,09	45.322,36	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	11.651,44	18.287,97	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	36.078,54	54.309,20	65,6	0,9104	0,4138
4 - 5	388.046,19	314.658,38	0,0	0,0000	1,0000

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	20.269,09	45.322,36
2 - 3	11.651,44	18.287,97
3 - 4	64.370,68	-10.371,39
4 - 5	388.046,19	314.658,38
$\Sigma$	484.337,40	367.897,32

DESLIZAMENTO - FSD $\emptyset$ - SEM COESÃO (C=0)				$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	=	1,10	>	1,10
				OK

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL				
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\sum FSDc} + \frac{\sum C \times A_i}{FSDc \sum T_i}$	=	3,40	>	1,00
				OK
				$\phi = 40^\circ$
				FSD $\emptyset = 1,10$
				FSDc = 1,30
				$A_i = 2.861,56 \text{ m}^2$
				A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m <sup>2</sup>

UHE ITAOCARA I

4.8. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO CCL 3 - DRENOS 100% INOPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m) - COM SISMO							
ESFORÇOS	VOLUME (m³)	γ (kN/m³)	g (9,81m/s²)	FORÇA (kN)	EXCENRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
					e <sub>x</sub>	e <sub>y</sub>	
Peso de Concreto CCV	28.976,79	24,00		V <sub>1</sub> = -695.442,96	25,61		M <sub>1</sub> = 17.810.294,21
Peso de Água à Montante	14.543,57	10,00		V <sub>2</sub> = -145.435,70	35,99		M <sub>2</sub> = 5.234.230,84
Peso de Água à Jusante	1.257,21	10,00		V <sub>3</sub> = -12.572,10	11,16		M <sub>3</sub> = 140.304,64
Empuxo de Água à Montante	44.533,44	10,00		T <sub>1</sub> = 445.334,40		7,03	M <sub>4</sub> = -3.130.700,83
Empuxo de Água à Jusante	10.314,71	10,00		T <sub>2</sub> = -103.147,10		2,70	M <sub>5</sub> = -278.497,17
Sismo Horizontal - Peso de Concreto	28.976,79	24,00	0,05	T <sub>3</sub> = 34.772,15		11,59	M <sub>6</sub> = -403.009,20
Sismo Vertical - Peso de Concreto	28.976,79	24,00	0,03	V <sub>4</sub> = 20.863,29	25,61		M <sub>7</sub> = -534.308,83
Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	14.543,57	10,00	0,03	V <sub>5</sub> = 4.363,07	35,99		M <sub>8</sub> = -157.026,93
Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	1.257,21	10,00	0,03	V <sub>6</sub> = 377,16	11,16		M <sub>9</sub> = -4.209,14
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante	2.322,97	10,00	1,00	T <sub>4</sub> = 23.229,70		9,60	M <sub>10</sub> = -223.005,12
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante	21,77	10,00	1,00	T <sub>5</sub> = 217,70		1,46	M <sub>11</sub> = -317,84
Subpressão	50.354,05	10,00		U = 503.540,50		27,18	M <sub>12</sub> = -13.686.230,79

PONTO DE TOMBAMENTO  $X_t = 41,88$   $Y_t = 5,50$

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6$	827.847,24 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3$	
$\sum U =$	503.540,50 kN	$\sum M_E =$	23.184.829,68 kNxm
$\sum V - \sum U =$	324.306,74 kN	$\sum M_T = M_4 + M_5 + M_6 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10} + M_{11} + M_{12}$	
$\sum T_{i, \text{MONTANTE}} = T_1 + T_3 + T_4 + T_5$	503.553,95 kN	$\sum M_T =$	18.417.305,84 kNxm
$\sum T_{i, \text{JUSANTE}} = T_2$	103.147,10 kN		

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	1,64	> 1,10 OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,26	> 1,10 OK

UHE ITAOCARA I

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO					
CCL 3 - DRENOS 100% INOPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m) - COM SISMO					
CÁLCULO DO DESLIZAMENTO CONSIDERANDO TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS PELO PROCESSO DE NIGAM					
	RESULTANTE DA FORÇA VERTICAL - V (kN)	RESULTANTE DA FORÇA HORIZONTAL - H (kN)	$\alpha$ (°)	sen $\alpha$	cos $\alpha$
A - 2	1.795,43	22.310,17	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	3.880,53	17.385,25	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	16.150,84	52.493,19	65,6	0,9104	0,4138
4 - 5	302.304,60	308.109,66	0,0	0,0000	1,0000

	N (kN)	T (kN)
A - 2	1.795,43	22.310,17
2 - 3	3.880,53	17.385,25
3 - 4	54.471,30	7.018,65
4 - 5	302.304,60	308.109,66
$\Sigma$	362.451,86	354.823,74

DESLIZAMENTO - FSD $\emptyset$ - SEM COESÃO (C=0)		$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	= 0,86 < 1,10	VERIFICAR COESÃO

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO	
$\frac{(\sum V - \sum U) \times \text{tg} \phi + (\sum C \times A_i)}{\sum T_i}$	= 1,00 > 1,00 OK
$\phi = 40^\circ$ A COESÃO NECESSÁRIA É C = 38 kN/m <sup>2</sup> FSD $\emptyset$ = 1,10 A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m <sup>2</sup> FSDc = 1,30 $A_i = 2.688,40 \text{ m}^2$	

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL	
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\sum T_i}$	= 3,11 > 1,00 OK
$\phi = 40^\circ$ FSD $\emptyset$ = 1,10 FSDc = 1,30 $A_i = 2.688,40 \text{ m}^2$	

## 5 TENSÕES NA BASE

Apresentam-se, neste item, planilhas dos cálculos das tensões Normais e Tangenciais, nas quais foram analisadas as tensões na base da Estrutura através do processo de Nigam.

A planilha, a seguir, fornece o cálculo das coordenadas do centro de gravidade (XG e YG) e o momento polar de inércia (IP) da área da fundação, que serão utilizados no cálculo das tensões.

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO																	
CÁLCULO DAS COORDENADAS DO CENTRO DE GRAVIDADE (XG E YG) E DO MOMENTO POLAR DE INÉRCIA (IP) DA ÁREA DA FUNDAÇÃO																	
NÓS	COORDENADAS		TRECHO	COMPRIMENTO (m)	ESPESSURA (m)	ÁREA (m²)	$\bar{X}$ (m)	$\bar{Y}$ (m)	$\bar{X} \times A$ (m²)	$\bar{Y} \times A$ (m²)	$\bar{X} - X_G$ (m)	$\bar{Y} - Y_G$ (m)	$(\bar{X} - X_G)^2$ (m²)	$(\bar{Y} - Y_G)^2$ (m²)	$r^2$ (m²)	$r^2 \times A$ (m⁴)	MOMENTO POLAR PARCIAL (m⁴)
	X (m)	Y (m)															
1	0,00	0,00															
2	5,70	0,00	1 - 2	5,70	63,00	359,10	2,85	0,00	1.023,44	0,00	-17,18	-4,17	295,15	17,39	312,54	112.233,58	972,26
3	8,00	0,00	2 - 3	2,30	63,00	144,90	6,85	0,00	992,57	0,00	-13,18	-4,17	173,71	17,39	191,10	27.690,58	63,88
4	10,50	5,50	3 - 4	6,04	63,00	380,62	9,25	2,75	3.520,70	1.046,69	-10,78	-1,42	116,21	2,02	118,22	44.988,24	1.157,71
5	41,88	5,50	4 - 5	31,38	63,00	1.976,94	26,19	5,50	51.776,06	10.873,17	6,16	1,33	37,95	1,77	39,71	78.513,18	162.225,13
$\Sigma$						2.861,56			57.312,76	11.919,86						263.435,59	164.418,97

$X_G =$	20,03 m
$Y_G =$	4,17 m
$I_p =$	427.854,57 m <sup>4</sup>

UHE ITAOCARA I

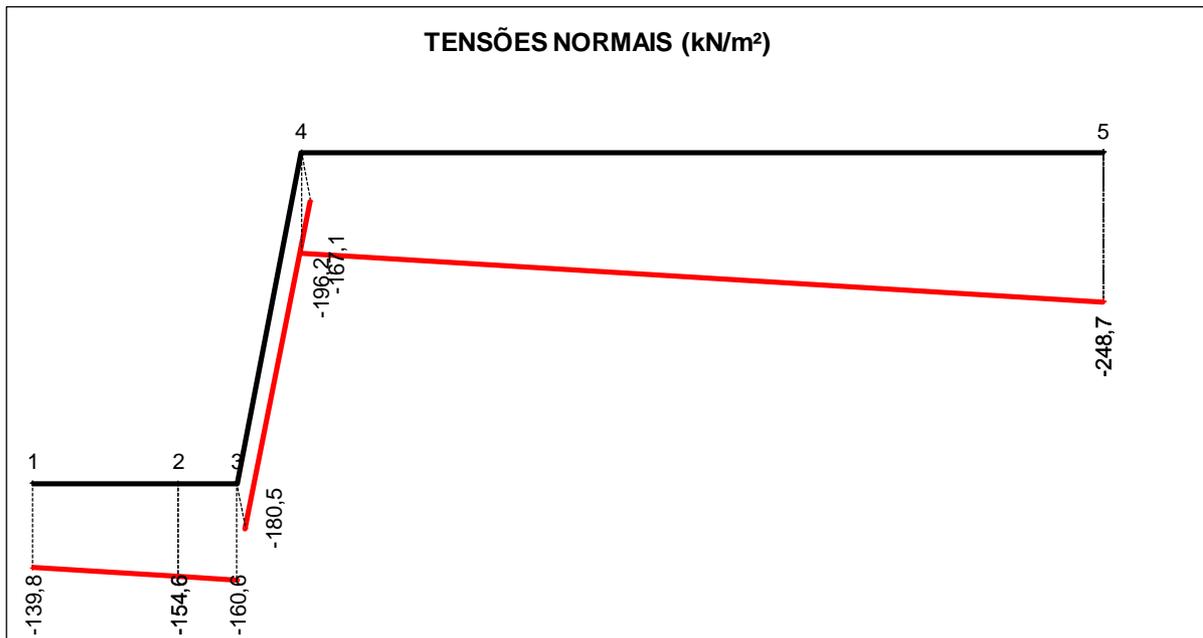
5.1. CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO						
CCN - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m)						
CÁLCULO DAS TENSÕES NA BASE						
CARREGAMENTO	ESFORÇO	FORÇA VERTICAL (kN)	FORÇA HORIZONTAL (kN)	EXCENTRIC. X EM RELAÇÃO AO CG (m)	EXCENTRIC. Y EM RELAÇÃO AO CG (m)	MOMENTO EM RELAÇÃO AO CG DA FUNDAÇÃO (kNxm)
1	Peso de Concreto CCV	-695.442,96		-3,76		2.614.865,53
2	Peso de Água à Montante	-145.435,70		-14,14		2.056.460,80
3	Peso de Água à Jusante	-12.572,10		10,69		-134.395,75
4	Empuxo de Água à Montante		445.334,40		-8,36	-3.722.995,58
5	Empuxo de Água à Jusante		-55.960,80		1,30	-72.749,04
6	Subpressão	304.340,40		-6,09		-1.853.433,04

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNxm)
PESO PRÓPRIO	-695.442,96	0,00	2.614.865,53
CCN	-549.110,36	389.373,60	-1.112.247,08

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCN (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 5,7	-139,82	-154,64
2 - 3	5,7 - 8	-154,64	-160,62
3 - 4	8 - 10,5	-180,47	-196,18
4 - 5	10,5 - 41,88	-167,12	-248,69

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCN (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	125,23	125,23
2 - 3	0 - 0	125,23	125,23
3 - 4	0 - 5,5	-94,40	-94,40
4 - 5	5,5 - 5,5	139,53	139,53



Base 100% comprimida

UHE ITAOCARA I

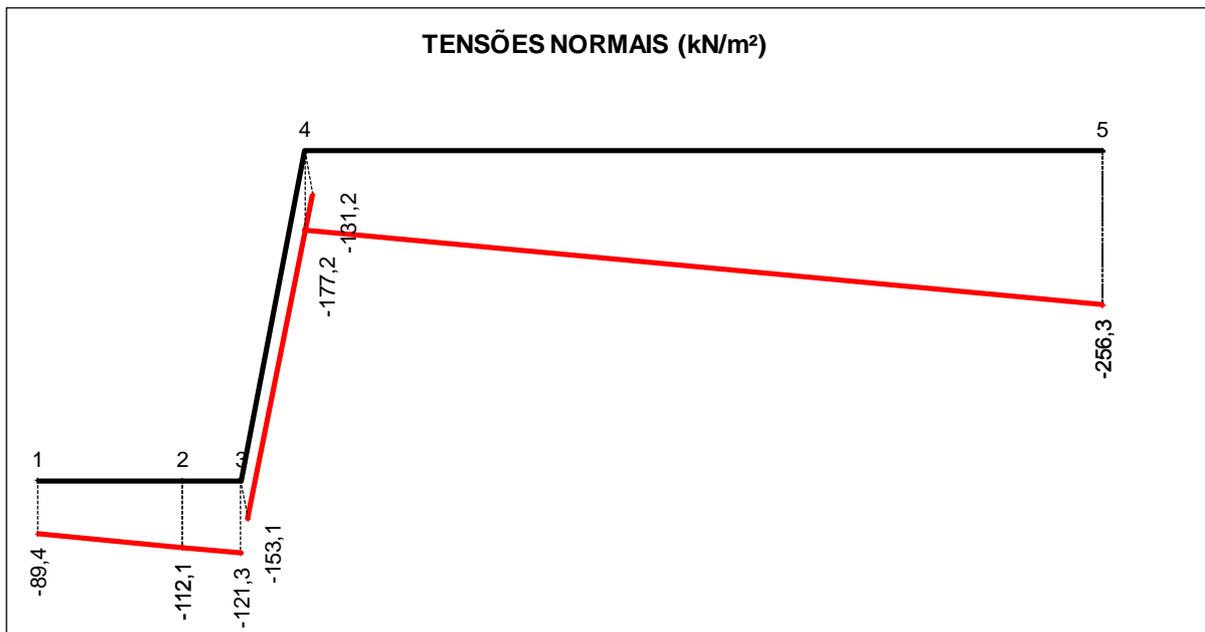
5.2. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO						
CCE 1 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. MAXIMORUM A MONTANTE (EL. 90,90m) E A JUSANTE (EL. 68,11m)						
CÁLCULO DAS TENSÕES NA BASE						
CARREGAMENTO	ESFORÇO	FORÇA VERTICAL (kN)	FORÇA HORIZONTAL (kN)	EXCENTRIC. X EM RELAÇÃO AO CG (m)	EXCENTRIC. Y EM RELAÇÃO AO CG (m)	MOMENTO EM RELAÇÃO AO CG DA FUNDAÇÃO (kNxm)
1	Peso de Concreto CCV	-695.442,96		-3,76		2.614.865,53
2	Peso de Água à Montante	-146.750,90		-14,14		2.075.057,73
3	Peso de Água à Jusante	-95.122,10		9,12		-867.513,55
4	Empuxo de Água à Montante		476.661,20		-8,80	-4.194.618,56
5	Empuxo de Água à Jusante		-105.492,10		-0,60	63.295,26
6	Subpressão	453.126,00		-3,08		-1.395.628,08

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNxm)
PESO PRÓPRIO	-695.442,96	0,00	2.614.865,53
CCE 1	-484.189,96	371.169,10	-1.704.541,68

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCE 1 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 5,7	-89,41	-112,12
2 - 3	5,7 - 8	-112,12	-121,28
3 - 4	8 - 10,5	-153,14	-177,21
4 - 5	10,5 - 41,88	-131,24	-256,25

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCE 1 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	113,10	113,10
2 - 3	0 - 0	113,10	113,10
3 - 4	0 - 5,5	-63,61	-63,61
4 - 5	5,5 - 5,5	135,01	135,01



Base 100% comprimida

UHE ITAOCARA I

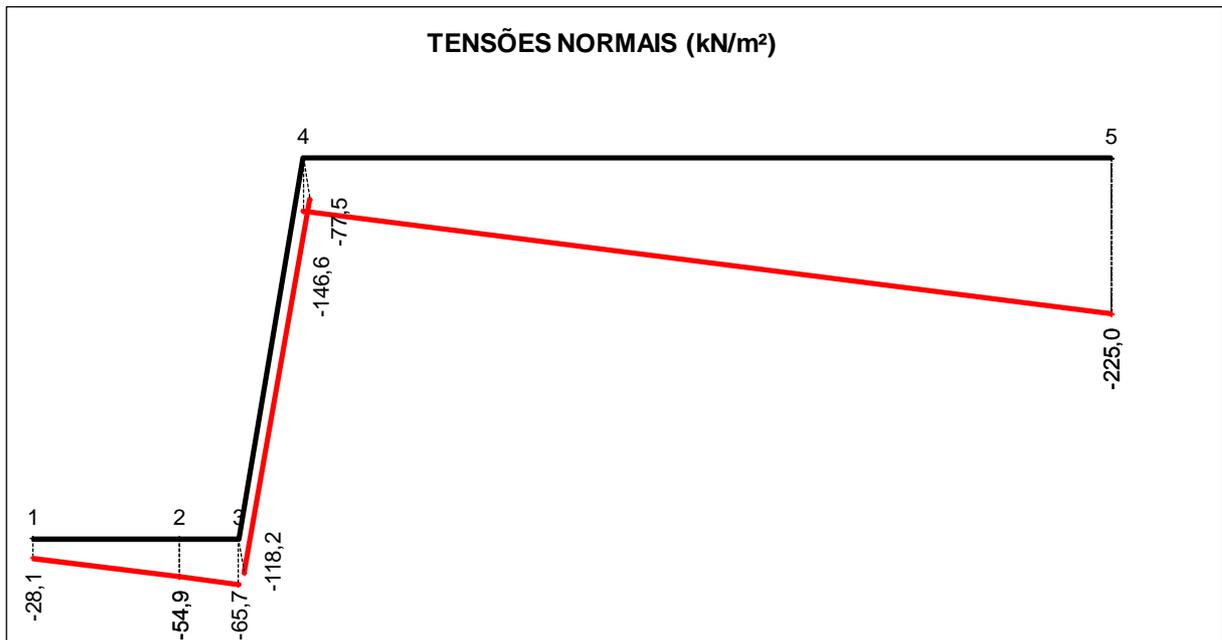
5.3. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO						
CCE 2 - DRENOS 100% INOPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m)						
CÁLCULO DAS TENSÕES NA BASE						
CARREGAMENTO	ESFORÇO	FORÇA VERTICAL (kN)	FORÇA HORIZONTAL (kN)	EXCENTRIC. X EM RELAÇÃO AO CG (m)	EXCENTRIC. Y EM RELAÇÃO AO CG (m)	MOMENTO EM RELAÇÃO AO CG DA FUNDAÇÃO (kNxm)
1	Peso de Concreto CCV	-695.442,96		-3,76		2.614.865,53
2	Peso de Água à Montante	-145.435,70		-14,14		2.056.460,80
3	Peso de Água à Jusante	-12.572,10		10,70		-134.521,47
4	Empuxo de Água à Montante		445.334,40		-8,36	-3.722.995,58
5	Empuxo de Água à Jusante		-103.147,10		1,37	-141.311,53
6	Subpressão	503.540,50		-5,33		-2.683.870,87

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNxm)
PESO PRÓPRIO	-695.442,96	0,00	2.614.865,53
CCE 2	-349.910,26	342.187,30	-2.011.373,12

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCE 2 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 5,7	-28,12	-54,91
2 - 3	5,7 - 8	-54,91	-65,73
3 - 4	8 - 10,5	-118,21	-146,62
4 - 5	10,5 - 41,88	-77,48	-225,00

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCE 2 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	99,98	99,98
2 - 3	0 - 0	99,98	99,98
3 - 4	0 - 5,5	-18,46	-18,46
4 - 5	5,5 - 5,5	125,83	125,83



Base 100% comprimida

UHE ITAOCARA I

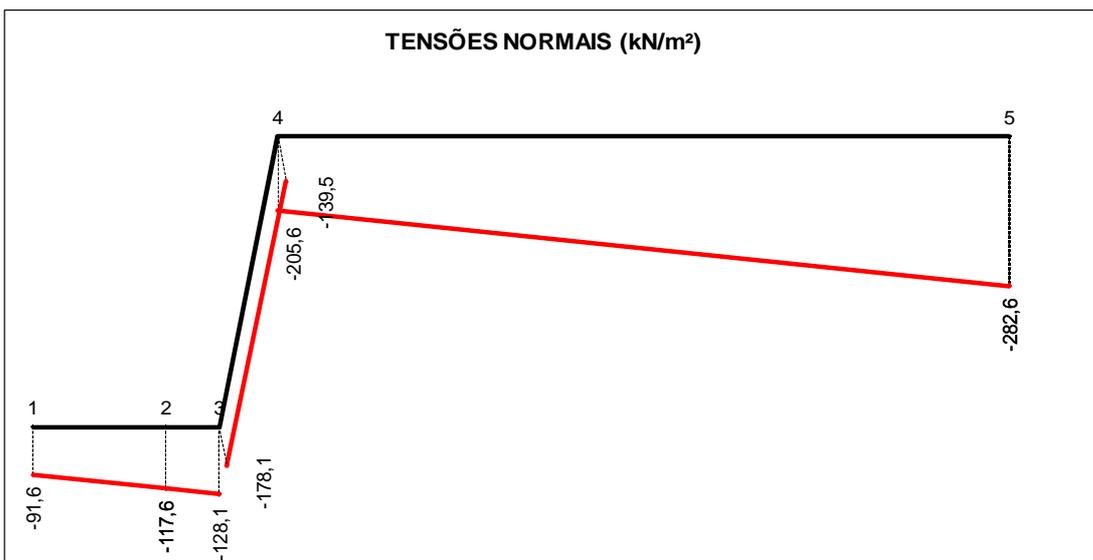
5.4. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO						
CCE 3 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m) - COM SISMO						
CÁLCULO DAS TENSÕES NA BASE						
CARREGAMENTO	ESFORÇO	FORÇA VERTICAL (kN)	FORÇA HORIZONTAL (kN)	EXCENTRIC. X EM RELAÇÃO AO CG (m)	EXCENTRIC. Y EM RELAÇÃO AO CG (m)	MOMENTO EM RELAÇÃO AO CG DA FUNDAÇÃO (kNm)
1	Peso de Concreto CCV	-695.442,96		-3,76		2.614.865,53
2	Peso de Água à Montante	-145.435,70		-14,14		2.056.460,80
3	Peso de Água à Jusante	-12.572,10		10,70		-134.521,47
4	Empuxo de Água à Montante		445.334,40		-8,36	-3.722.995,58
5	Empuxo de Água à Jusante		-55.960,80		1,30	-72.749,04
6	Sismo Horizontal - Peso de Concreto		34.772,15		-12,92	-449.256,15
7	Sismo Vertical - Peso de Concreto	20.863,29		-3,76		-78.445,97
8	Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	4.363,07		-14,14		-61.693,82
9	Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	377,16		10,70		4.035,64
10	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante		23.229,70		-10,93	-253.900,62
11	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante		217,70		-2,79	-607,38
12	Subpressão	304.340,40		-6,09		-1.853.433,04

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNm)
PESO PRÓPRIO	-695.442,96	0,00	2.614.865,53
CCE 3	-523.506,84	447.593,15	-1.952.241,10

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCE 3 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 5,7	-91,55	-117,56
2 - 3	5,7 - 8	-117,56	-128,05
3 - 4	8 - 10,5	-178,06	-205,63
4 - 5	10,5 - 41,88	-139,46	-282,64

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCE 3 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	137,39	137,39
2 - 3	0 - 0	137,39	137,39
3 - 4	0 - 5,5	-59,72	-59,72
4 - 5	5,5 - 5,5	162,48	162,48



Base 100% comprimida

UHE ITAOCARA I

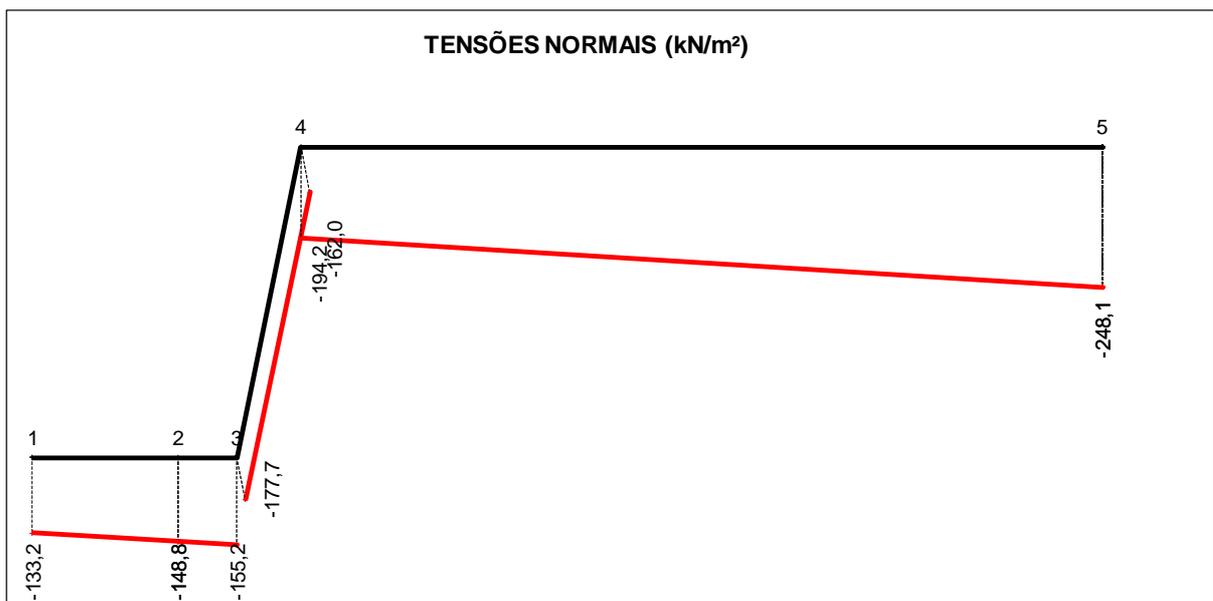
5.5. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO						
CCE 4 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m) - 1 VÃO ENSECADO						
CÁLCULO DAS TENSÕES NA BASE						
CARREGAMENTO	ESFORÇO	FORÇA VERTICAL (kN)	FORÇA HORIZONTAL (kN)	EXCENTRIC. X EM RELAÇÃO AO CG (m)	EXCENTRIC. Y EM RELAÇÃO AO CG (m)	MOMENTO EM RELAÇÃO AO CG DA FUNDAÇÃO (kNm)
1	Peso de Concreto CCV	-695.442,96		-3,76		2.614.865,53
2	Peso de Água à Montante	-136.776,40		-14,46		1.977.786,74
3	Peso de Água à Jusante	-10.541,10		11,12		-117.217,03
4	Empuxo de Água à Montante		445.334,40		-8,36	-3.722.995,58
5	Empuxo de Água à Jusante		-55.960,80		1,30	-72.749,04
6	Subpressão	304.340,40		-6,09		-1.853.433,04

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNm)
PESO PRÓPRIO	-695.442,96	0,00	2.614.865,53
CCE 4	-538.420,06	389.373,60	-1.173.742,42

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCE 4 (kN/m <sup>2</sup> )	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 5,7	-133,21	-148,84
2 - 3	5,7 - 8	-148,84	-155,15
3 - 4	8 - 10,5	-177,66	-194,24
4 - 5	10,5 - 41,88	-162,01	-248,10

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCE 4 (kN/m <sup>2</sup> )	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	124,63	124,63
2 - 3	0 - 0	124,63	124,63
3 - 4	0 - 5,5	-89,67	-89,67
4 - 5	5,5 - 5,5	139,72	139,72



**Base 100% comprimida**

UHE ITAOCARA I

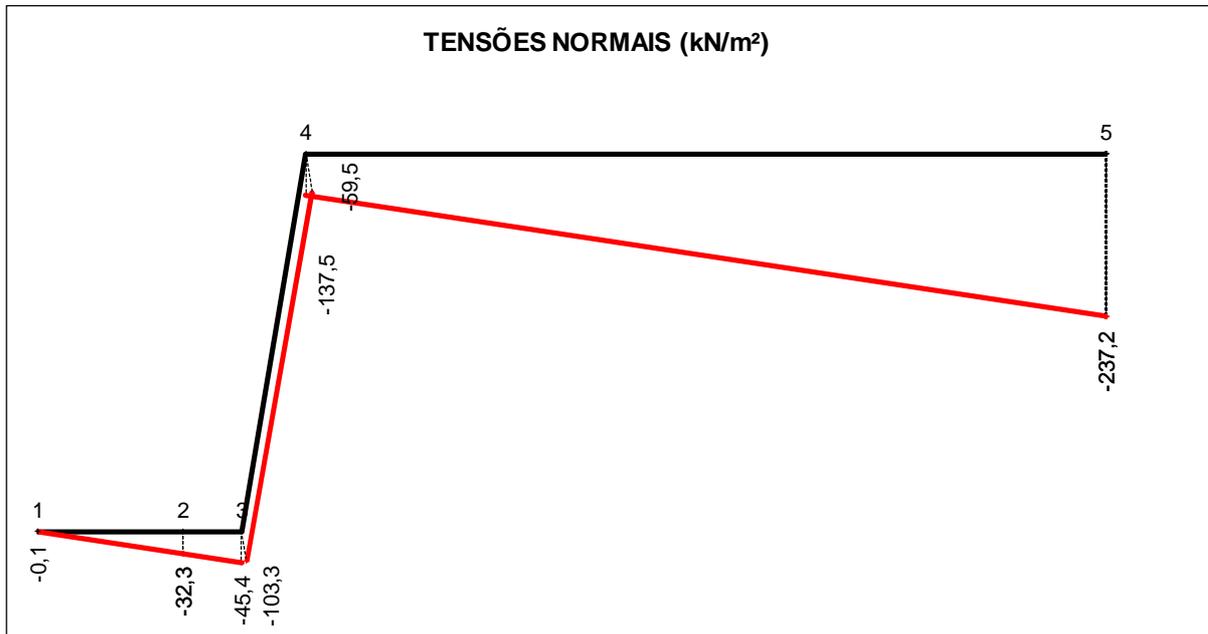
5.6. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO						
CCL 1 - DRENOS 100% INOPERANTES - N.A. MÁX. MAXIMORUM A MONTANTE (EL. 90,90m) E A JUSANTE (EL. 68,11m)						
CÁLCULO DAS TENSÕES NA BASE						
CARREGAMENTO	ESFORÇO	FORÇA VERTICAL (kN)	FORÇA HORIZONTAL (kN)	EXCENTRIC. X EM RELAÇÃO AO CG (m)	EXCENTRIC. Y EM RELAÇÃO AO CG (m)	MOMENTO EM RELAÇÃO AO CG DA FUNDAÇÃO (kNxm)
1	Peso de Concreto CCV	-695.442,96		-3,76		2.614.865,53
2	Peso de Água à Montante	-146.750,90		-14,14		2.075.057,73
3	Peso de Água à Jusante	-95.122,10		9,12		-867.513,55
4	Empuxo de Água à Montante		476.661,20		-8,80	-4.194.618,56
5	Empuxo de Água à Jusante		-143.277,70		-0,06	8.596,66
6	Subpressão	612.640,00		-3,36		-2.058.470,40

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNxm)
PESO PRÓPRIO	-695.442,96	0,00	2.614.865,53
CCL 1	-324.675,96	333.383,50	-2.422.082,59

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCL 1 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 5,7	-0,07	-32,34
2 - 3	5,7 - 8	-32,34	-45,36
3 - 4	8 - 10,5	-103,34	-137,54
4 - 5	10,5 - 41,88	-59,51	-237,15

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCL 1 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	92,90	92,90
2 - 3	0 - 0	92,90	92,90
3 - 4	0 - 5,5	-2,85	-2,85
4 - 5	5,5 - 5,5	124,03	124,03



Base 100% comprimida

UHE ITAOCARA I

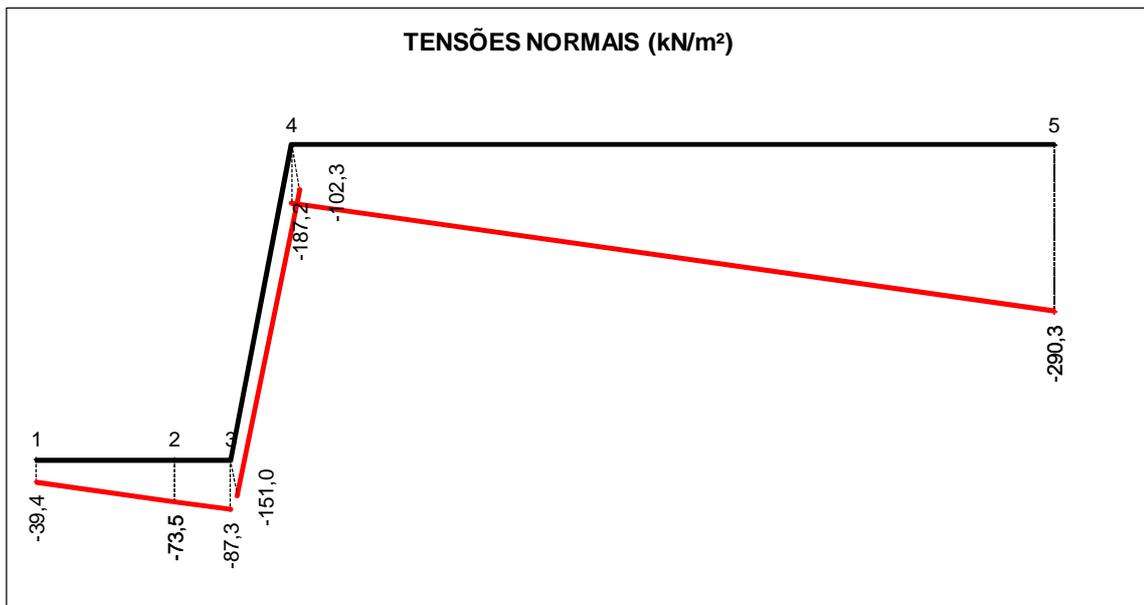
5.7. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO						
CCL 2 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. MAXIMORUM A MONTANTE (EL. 90,90m) E A JUSANTE (EL. 68,11m) - COM SISMO						
CÁLCULO DAS TENSÕES NA BASE						
CARREGAMENTO	ESFORÇO	FORÇA VERTICAL (kN)	FORÇA HORIZONTAL (kN)	EXCENTRIC. X EM RELAÇÃO AO CG (m)	EXCENTRIC. Y EM RELAÇÃO AO CG (m)	MOMENTO EM RELAÇÃO AO CG DA FUNDAÇÃO (kNm)
1	Peso de Concreto CCV	-695.442,96		-3,76		2.614.865,53
2	Peso de Água à Montante	-146.750,90		-14,14		2.075.057,73
3	Peso de Água à Jusante	-95.122,10		9,12		-867.513,55
4	Empuxo de Água à Montante		476.661,20		-8,80	-4.194.618,56
5	Empuxo de Água à Jusante		-105.492,10		-0,60	63.295,26
6	Sismo Horizontal - Peso de Concreto		34.772,15		-12,92	-449.256,15
7	Sismo Vertical - Peso de Concreto	20.863,29		-3,76		-78.445,97
8	Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	4.402,53		-14,14		-62.251,73
9	Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	2.853,66		9,12		26.025,41
10	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante		24.863,80		-11,45	-284.690,51
11	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante		1.849,70		-5,59	-10.339,82
12	Subpressão	453.125,90		-3,08		-1.395.627,77

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNm)
PESO PRÓPRIO	-695.442,96	0,00	2.614.865,53
CCL 2	-456.070,58	432.654,75	-2.563.500,14

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCL 2 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 5,7	-39,37	-73,52
2 - 3	5,7 - 8	-73,52	-87,30
3 - 4	8 - 10,5	-151,02	-187,22
4 - 5	10,5 - 41,88	-102,28	-290,29

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCL 2 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	126,21	126,21
2 - 3	0 - 0	126,21	126,21
3 - 4	0 - 5,5	-27,25	-27,25
4 - 5	5,5 - 5,5	159,16	159,16



Base 100% comprimida

UHE ITAOCARA I

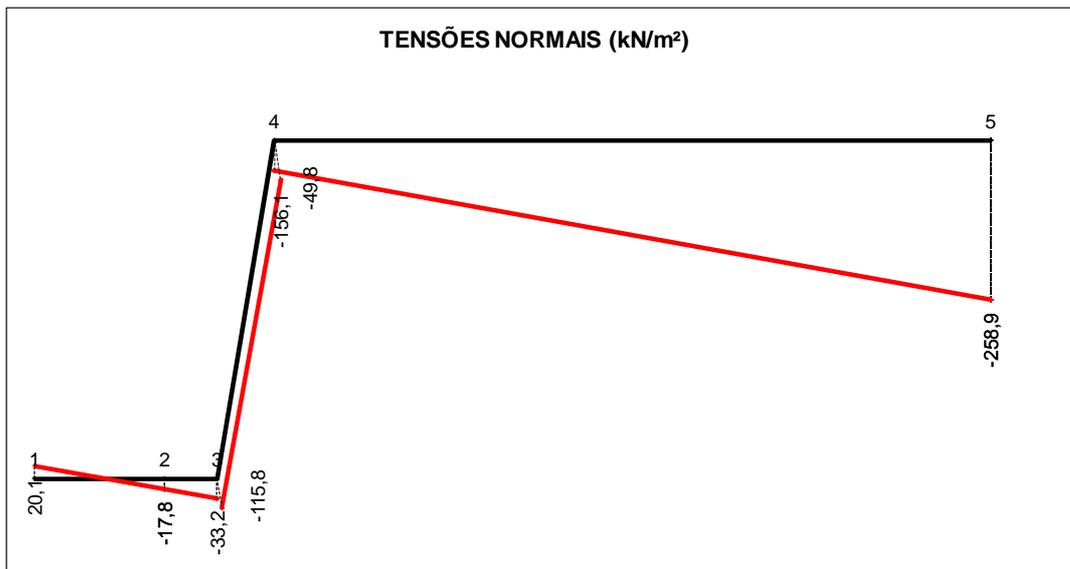
5.8. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3

UHE ITAOCARA I - DESCARREGADOR DE FUNDO						
CCL 3 - DRENOS 100% INOPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 61,14m) - COM SISMO						
CÁLCULO DAS TENSÕES NA BASE						
CARREGAMENTO	ESFORÇO	FORÇA VERTICAL (kN)	FORÇA HORIZONTAL (kN)	EXCENTRIC. X EM RELAÇÃO AO CG (m)	EXCENTRIC. Y EM RELAÇÃO AO CG (m)	MOMENTO EM RELAÇÃO AO CG DA FUNDAÇÃO (kNm)
1	Peso de Concreto CCV	-695.442,96		-3,76		2.614.865,53
2	Peso de Água à Montante	-145.435,70		-14,14		2.056.460,80
3	Peso de Água à Jusante	-12.572,10		10,69		-134.395,75
4	Empuxo de Água à Montante		445.334,40		-8,36	-3.722.995,58
5	Empuxo de Água à Jusante		-103.147,10		1,37	-141.311,53
6	Sismo Horizontal - Peso de Concreto		34.772,15		-12,92	-449.256,15
7	Sismo Vertical - Peso de Concreto	20.863,29		-3,76		-78.445,97
8	Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	4.363,07		-14,14		-61.693,82
9	Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	377,16		10,69		4.031,87
10	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante		23.229,70		-10,93	-253.900,62
11	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante		217,70		-2,79	-607,38
12	Subpressão	503.540,50		-5,33		-2.683.870,87

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNm)
PESO PRÓPRIO	-695.442,96	0,00	2.614.865,53
CCL 3	-324.306,74	400.406,85	-2.851.119,47

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCL 3 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 5,7	20,14	-17,84
2 - 3	5,7 - 8	-17,84	-33,17
3 - 4	8 - 10,5	-115,81	-156,07
4 - 5	10,5 - 41,88	-49,83	-258,94

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCL 3 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	112,14	112,14
2 - 3	0 - 0	112,14	112,14
3 - 4	0 - 5,5	16,21	16,21
4 - 5	5,5 - 5,5	148,79	148,79

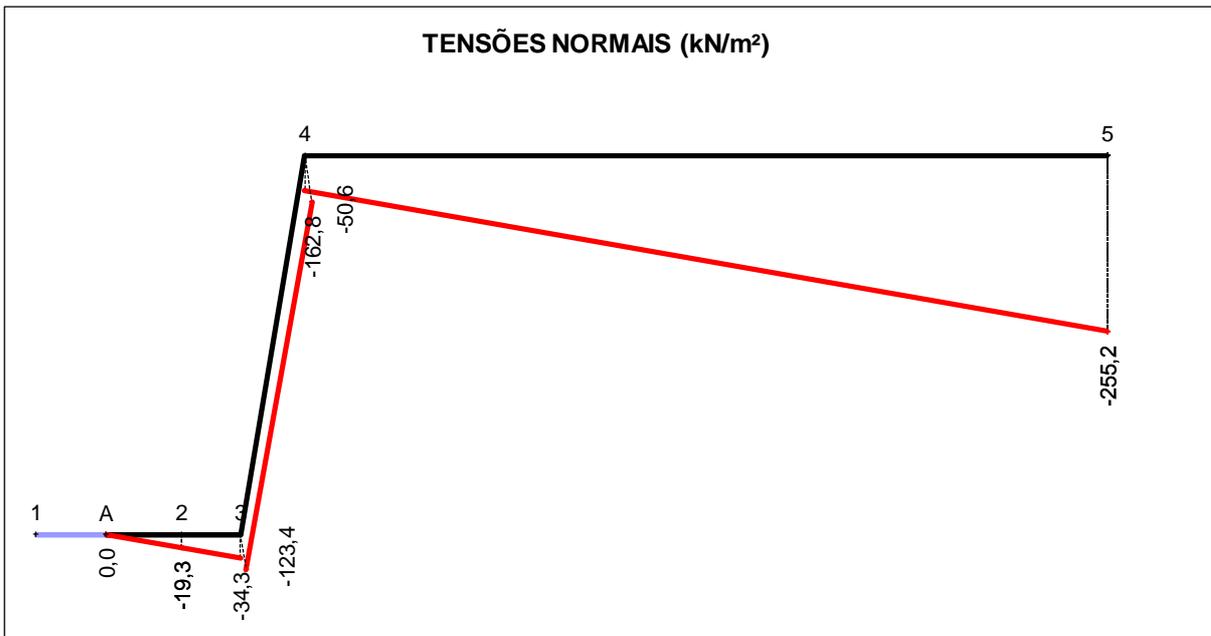


Devido a presença de tensões de tração no trecho à montante da base da estrutura será apresentado a seguir as tensões normais e tangencias admitindo a abertura de fissura à montante, realizada através de processo iterativo.

UHE ITAOCARA I

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCL 3 (kN/m <sup>2</sup> )	
j - k		j	k
A - 2	2,75 - 5,7	-0,03	-19,28
2 - 3	5,7 - 8	-19,28	-34,28
3 - 4	8 - 10,5	-123,41	-162,81
4 - 5	10,5 - 41,88	-50,59	-255,24

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCL 3 (kN/m <sup>2</sup> )	
j - k		j	k
A - 2	0 - 0	119,98	119,98
2 - 3	0 - 0	119,98	119,98
3 - 4	0 - 5,5	18,44	18,44
4 - 5	5,5 - 5,5	155,85	155,85



**Base 94,0% Comprimida**

## 6 COEFICIENTES DE SEGURANÇA ENCONTRADOS

### 6.1. CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	2,80	1,30
Tombamento – CST	1,97	1,50
Deslizamento sem Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ )	1,55	1,50
Deslizamento com Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ ) e $CSD_C = 400$ kPa	2,29	1,00
Área da Base Comprimida	100%	100%

### 6.2. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	2,07	1,10
Tombamento – CST	1,63	1,20
Deslizamento sem Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ )	1,40	1,10
Deslizamento com Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ ) e $CSD_C = 400$ kPa	3,82	1,00
Área da Base Comprimida	100%	67%

### 6.3. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	1,69	1,10
Tombamento – CST	1,36	1,20
Deslizamento sem Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ )	1,07	1,10
Deslizamento com Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ ) e $CSD_C = 400$ kPa	3,59	1,00
Área da Base Comprimida	100%	67%

6.4. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	2,72	1,10
Tombamento – CST	1,77	1,20
Deslizamento sem Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ )	1,24	1,10
Deslizamento com Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ ) e $CSD_C = 400$ kPa	3,21	1,00
Área da Base Comprimida	100%	67%

6.5. CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	2,77	1,10
Tombamento – CST	1,94	1,20
Deslizamento sem Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ )	1,51	1,10
Deslizamento com Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ ) e $CSD_C = 400$ kPa	3,88	1,00
Área da Base Comprimida	100%	67%

6.6. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	1,53	1,10
Tombamento – CST	1,27	1,10
Deslizamento sem Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ )	1,01	1,10
Deslizamento com Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ ) e $CSD_C = 400$ kPa	3,95	1,00
Área da Base Comprimida	100%	Resultante dentro da base

6.7. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	2,01	1,10
Tombamento – CST	1,49	1,10
Deslizamento sem Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ )	1,10	1,10
Deslizamento com Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ ) e $CSD_C = 400$ kPa	3,40	1,00
Área da Base Comprimida	100%	Resultante dentro da base

6.8. CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	1,64	1,10
Tombamento – CST	1,26	1,10
Deslizamento sem Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ )	0,86	1,10
Deslizamento com Coesão – $CSD_{\phi}$ ( $\Phi=40^{\circ}$ ) e $CSD_C = 400$ kPa	3,11	1,00
Área da Base Comprimida	94,0%	Resultante dentro da base

## 7 CONCLUSÃO

A estrutura do Descarregador de Fundo analisada é estável em todas as verificações, atendendo aos coeficientes de segurança definidos nos Critérios de Projeto da UHE Itaocara I.



---

UHE ITAOCARA I

## **ANEXO A – UHE ITAOCARA I – JUSTIFICATIVA SOBRE ADOÇÃO DE PARÂMETROS GEOMECÂNICOS NA INTERFACE ROCHA/CONCRETO**

## UHE ITAOCARA I – RIO PARAÍBA DO SUL - DIVISA RJ/MG

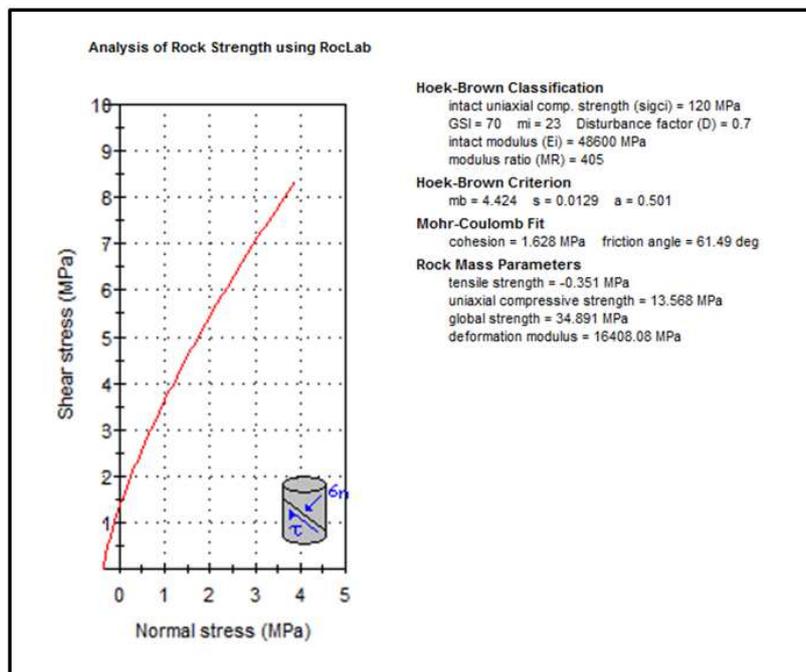
### PARÂMETROS ADOTADOS PARA O MACIÇO ROCHOSO DE FUNDAÇÃO DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO (DESCARREGADOR DE FUNDO E CASA DE FORÇA)

O maciço rochoso de fundação, previsto para assentamento das estruturas de concreto da Casa de Força, Tomada de Água e Descarregador de Fundo, é formado por Granitos Gnaisses e Migmatitos da Zona de Cisalhamento do Paraíba do Sul, caracterizado pelos furos de sondagens executados (SR-22 e SR-112), nos locais de construção dessas estruturas.

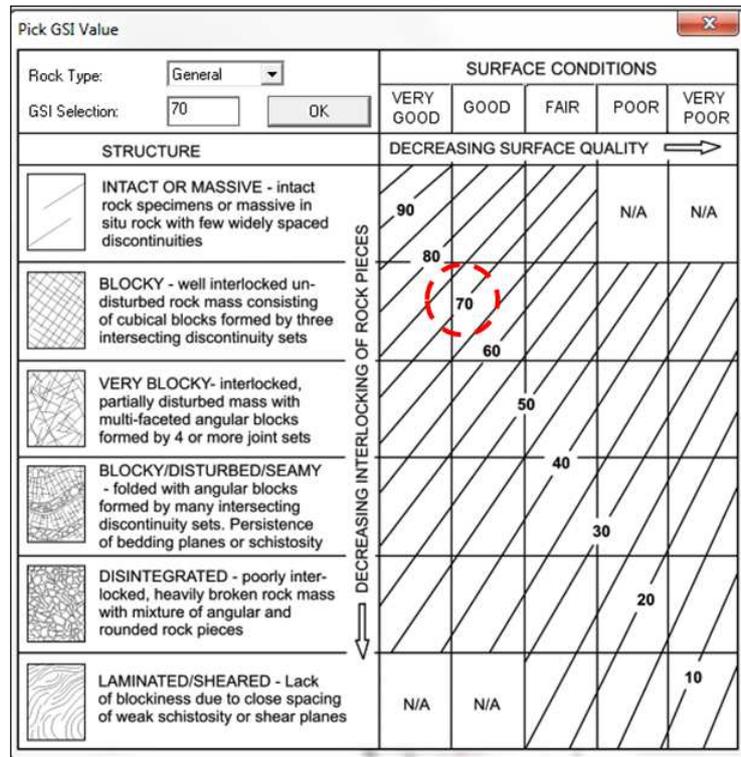
O mesmo é caracterizado por um maciço são, pouco fraturado (F2/F3), levemente alterado a são (A2/A1), muito coerente (C2/C1), cujos valores de RQD ficam entre 70% e 90%, sendo de boa qualidade geomecânica, com índices de GSI variando entre 70 e 80.

Com base nessas informações foi possível estimar os parâmetros de resistência do maciço de fundação através do programa *RocLab* (ver **Figura 1**), considerando-se taludes de escavação com 50 m de altura, como segue abaixo:

- GSI (*Geological Strength Index*) = 70 (ver **Figura 2**);
- $M_i = 23$ ;
- Fator de distúrbio: 0,7 (maciço escavado adequadamente, sem distúrbios)
- Módulo de deformabilidade da rocha intacta; 48.600 MPa
- Resistência a compressão uniaxial: 120 MPa



**FIGURA 1** – Análise de Resistência do Maciço de Fundação esperado para as estruturas de concreto da UHE Itaocara I, utilizando o *software RocLab*.



**FIGURA 2** – Classificação geomecânica do maciço rochoso no nível de fundação previsto para as estruturas de concreto da Casa de Força e Descarregador de Fundo (Fonte: RocLab, 2007 – Versão 1.031).

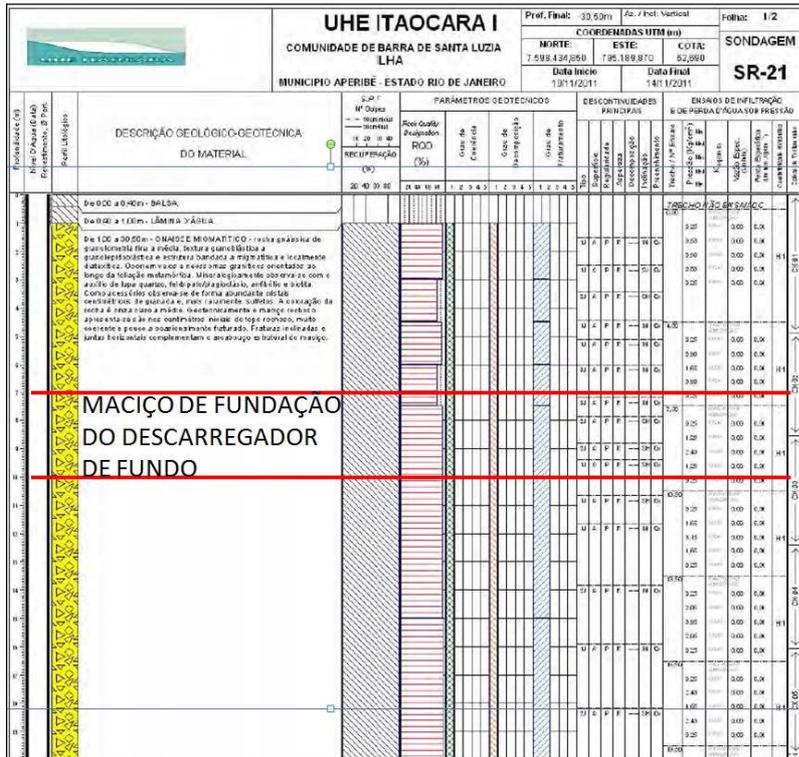
Esta análise estimada para o maciço rochoso de fundação apresenta uma coesão de 1,63 MPa e ângulo de atrito de 61,5°. Utilizando-se um fator de minoração de 1,5, os parâmetros estimados para o maciço rochoso passam a valores de  $C_m = 1,0$  MPa e ângulo de atrito  $\phi_m = 41^\circ$ .

### PARÂMETROS GEOMECÂNICOS DO CONTATO CONCRETO ROCHA

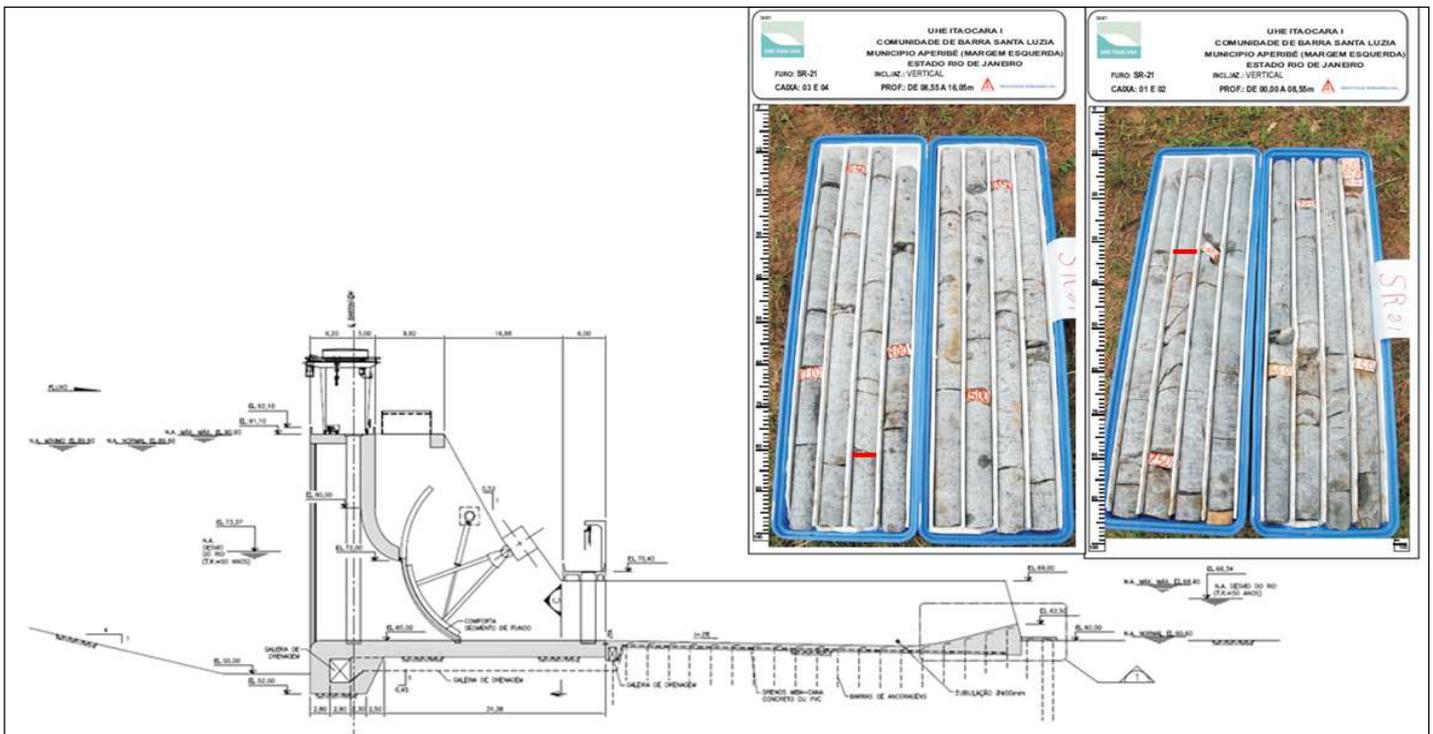
Com base nos parâmetros estimados no RocLab para o maciço rochoso de fundação e na experiência da Projetista, adquirida em obras similares, foram adotados os seguintes parâmetros de Resistência para a interface concreto X rocha:

- Ângulo de Atrito no contato Concreto x Rocha:  $\phi = 40^\circ$ ;
- Coesão no Contato Concreto Rocha: 400 kPa

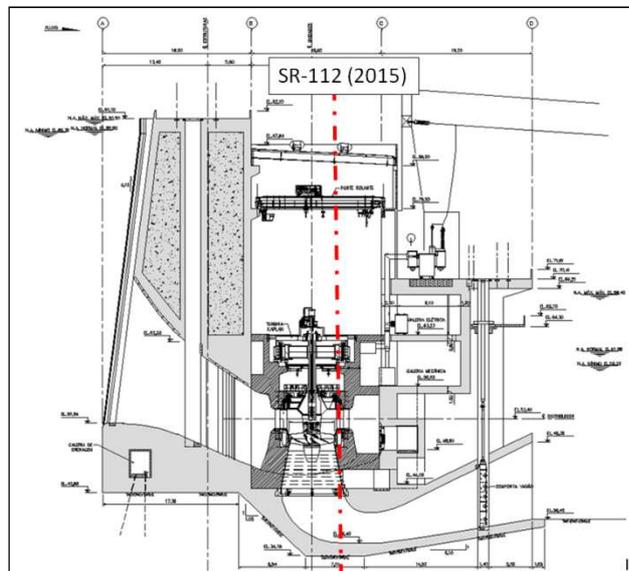
Durante as fases posteriores de estudo este cenário de caracterização da fundação deverá ser confirmado através de ensaios e, se necessário, ajustes poderão ser implementados, de forma a retratar as características da superfície de contato.



**FIGURA 3** – Log de sondagem do furo SR-21 executado durante a fase de Projeto Básico, comprovando a boa qualidade geomecânica do maciço rochoso no nível de fundação do Descarregador de Fundo.



**FIGURA 4** – Seção longitudinal típica do Descarregador de Fundo, considerada na Memória de cálculo da estabilidade da estrutura. Os traços vermelhos nas fotos indicam o trecho de maciço rochoso de fundação previsto para assentamento da estrutura.



**FIGURA 5** – Seção longitudinal típica da Tomada de Água/Casa de Força considerada na Memória de cálculo de estabilidade da estrutura.



**FOTO 1** – Detalhe dos testemunhos da sondagem SR-112 executada sobre o local de implantação da Casa de Força, com 30° de inclinação com a vertical, comprovando a boa qualidade geomecânica e o baixo grau de fraturamento nas elevações de assentamento da estrutura de concreto.

## CRITÉRIOS GEOTÉCNICOS DOS TALUDES DE ESCAVAÇÃO

### Solo Colúvio / Residual (CO/SR):

- Talude Inclinado 1,0V:1,5H
- Bancadas Altura de até 10,00 m
- Bermas de 3,00 m, quando necessário

### Rocha Alterada (RA\*):

- Se Altura < 5,00m Talude 1,0V:1,5H

### Rocha Sã (RS):

- Talude Vertical
- Bancadas Altura de até 10,00 m
- Bermas construtivas de 0,50 m

**(RA\*): de acordo com as sondagens executadas até o momento, o manto de intemperismo é delgado não havendo quase rocha alterada na área de interesse e/ou as escavações obrigatórias não expõem o mesmo, nos trechos em que a rocha alterada apresenta-se mais espessa.**

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- USACE (*United States of Army Corps Engineer*); EM-1110-1-2908 – *Rock Foundations*, 1994.
- *Rocscience, RocLab*, 2007 – Versão 1.031.