

PROJETO BÁSICO
CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA
ESTABILIDADE - MEMÓRIA DE CÁLCULO

1	Emissão Final	MMPS	MKT	MAI/15
N ^o	Descrição	Prep.	Aprov.	Data
REVISÕES				
				
PROJETO BÁSICO				
				

UHE ITAOCARA I

Preparado	<u>MMPS</u>	Aprov.	<u>Marcelo K. Turqueti</u> Gerente do Projeto	N ^o VLB	Rev.
Conferido	<u>RRB</u>			1530-IT-B-MC-C11-0001	1
Visto	<u>MKT</u>	Aprov.	<u>José H. R. Lopes</u> Resp. Técnico	N ^o do Cliente	Rev.
Data	<u>MAI/15</u>		MG-12545/D		

PROJETO BÁSICO
CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA
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.....	8
2. ESTRUTURA.....	10
2.1 GEOMETRIA.....	10
3. CASOS DE CARREGAMENTO.....	12
3.1 CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN.....	14
3.2 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1.....	15
3.3 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2.....	17
3.4 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3.....	18
3.5 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4.....	20
3.6 CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1.....	21
3.7 CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2.....	22
3.8 CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3.....	24
4. ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	26
4.1 CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN.....	26
4.2 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1.....	28

UHE ITAOCARA I

4.3	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2.....	30
4.4	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3.....	32
4.5	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4.....	34
4.6	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1.....	36
4.7	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2.....	38
4.8	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3.....	40
5.	TENSÕES NA BASE	42
5.1	CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN	43
5.2	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1.....	44
5.3	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2.....	45
5.4	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3.....	46
5.5	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4.....	48
5.6	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1.....	49
5.7	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2.....	50
5.8	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3.....	51
6.	COEFICIENTES DE SEGURANÇA ENCONTRADOS.....	53
6.1	CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN	53
6.2	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1.....	53
6.3	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2.....	53
6.4	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3.....	54
6.5	CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4.....	54
6.6	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1.....	55
6.7	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2.....	56
6.8	CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3.....	56
7.	CONCLUSÃO	57
	ANEXO A – UHE ITAOCARA I – JUSTIFICATIVA SOBRE ADOÇÃO DE PARÂMETROS GEOMECÂNICOS NA INTERFACE ROCHA/CONCRETO	58

PROJETO BÁSICO
CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA
ESTABILIDADE - MEMÓRIA DE CÁLCULO

1. INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVO

Esta memória de cálculo tem como objetivo apresentar a análise de estabilidade da Casa de Força e Tomada de Água da UHE Itaipava 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 “m²” e os volumes em “m³”.

1.3 COEFICIENTE DE SEGURANÇA À FLUTUAÇÃO – CSF

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

Onde:

CSF – Coeficiente de segurança à flutuação;

ΣV – Somatório das forças gravitacionais;

ΣU – 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;

ΣM_E – Somatório dos momentos estabilizantes;

ΣM_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

$$\frac{\Sigma N_i T g \phi_i}{\Sigma T_i} \geq CSD_\phi \quad \text{SEM COESÃO}$$

$$\frac{\frac{\Sigma N_i t g \phi_i}{CSD_\phi} + \frac{\Sigma C_i A_i}{CSD_c}}{\Sigma T_i} \geq 1,0 \quad \text{COM COESÃO}$$

Onde:

CSD_ϕ – Coeficiente de ponderação relativo ao atrito;

CSD_c – Coeficiente de ponderação relativo à coesão;

N_i – Força normal à superfície de escorregamento em análise;

ϕ_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	Casos de Carregamentos
-----------------	------------------------

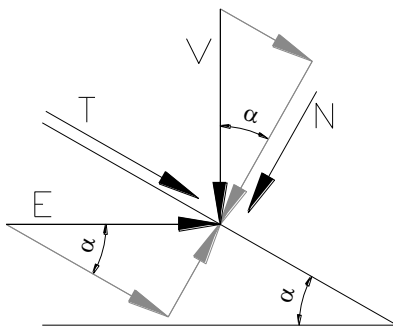
segurança	CCN	CCE	CCL	CCC
CSD_c	3,00	1,50	1,30	2,00
CSD_\emptyset	1,50	1,10	1,10	1,30

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:

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

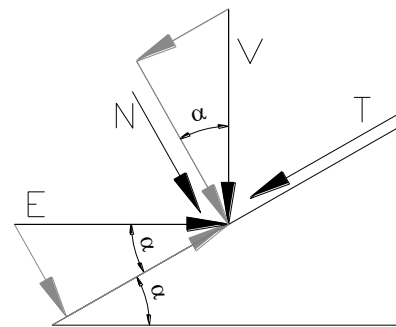
As forças normais (N) e tangenciais (T) dependem do sentido de inclinação do plano em que atuam e são obtidas a partir das forças verticais e horizontais pelas expressões:



Plano Descendente

$$N = V \times \cos \alpha - E \times \sen \alpha$$

$$T = V \times \sen \alpha + E \times \cos \alpha$$



Plano Ascendente

$$N = V \times \cos \alpha + E \times \sen \alpha$$

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

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				
% da Área Comprimida	CCN	CCE	CCL	CCC
	100% ⁽¹⁾	67% ⁽¹⁾	Resultante dentro da Base	67% ⁽¹⁾

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

1.7 PARÂMETROS ADOTADOS

1.7.1 Peso específico dos materiais

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

Concreto Massa (CM): $\gamma_{CM} = 24,00 \text{ kN/m}^3$

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.

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:

λ - Aceleração horizontal;

H - Profundidade máxima;

ϖ - 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-C11-0001 e 0004 - Projeto Básico – Casa de Força e Tomada de Água - 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;

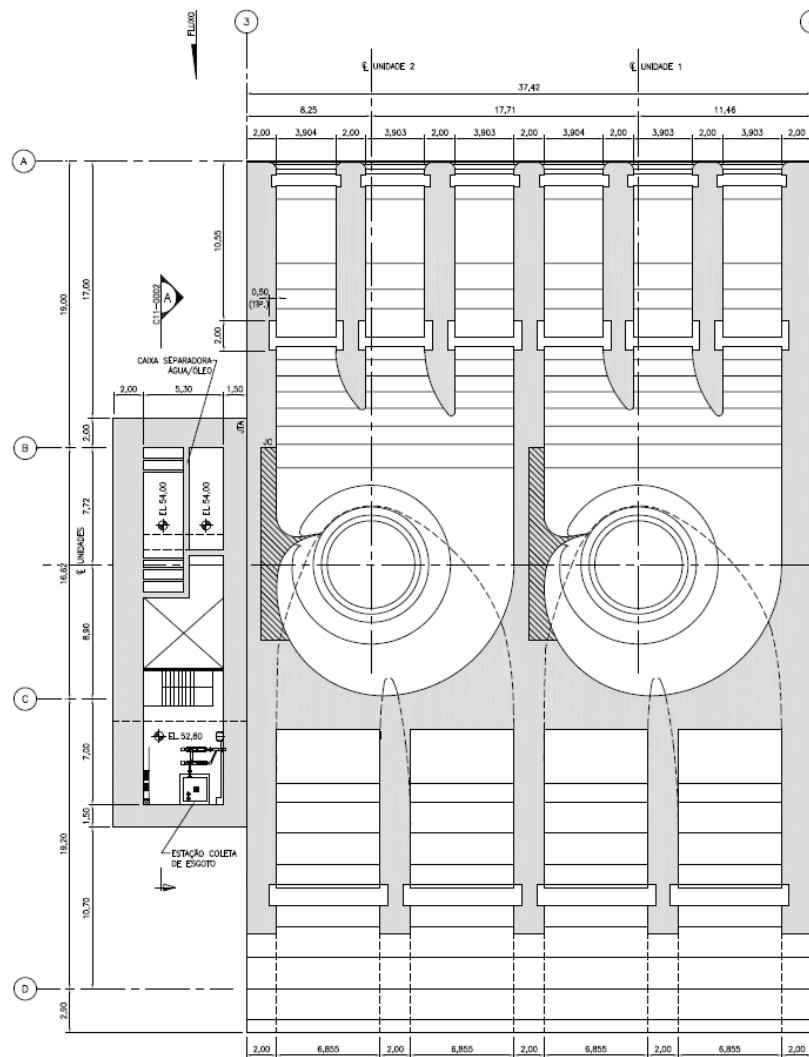
BUREAU OF RECLAMATION. Design of Gravity Dams - Design Manual for Concrete Gravity Dams. Department of the Interior, Denver/CO/EUA, 1976, p. 32;

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

2. ESTRUTURA

2.1 GEOMETRIA

Apresenta-se, a seguir, a geometria da estrutura da Casa de Força e Tomada de Água.



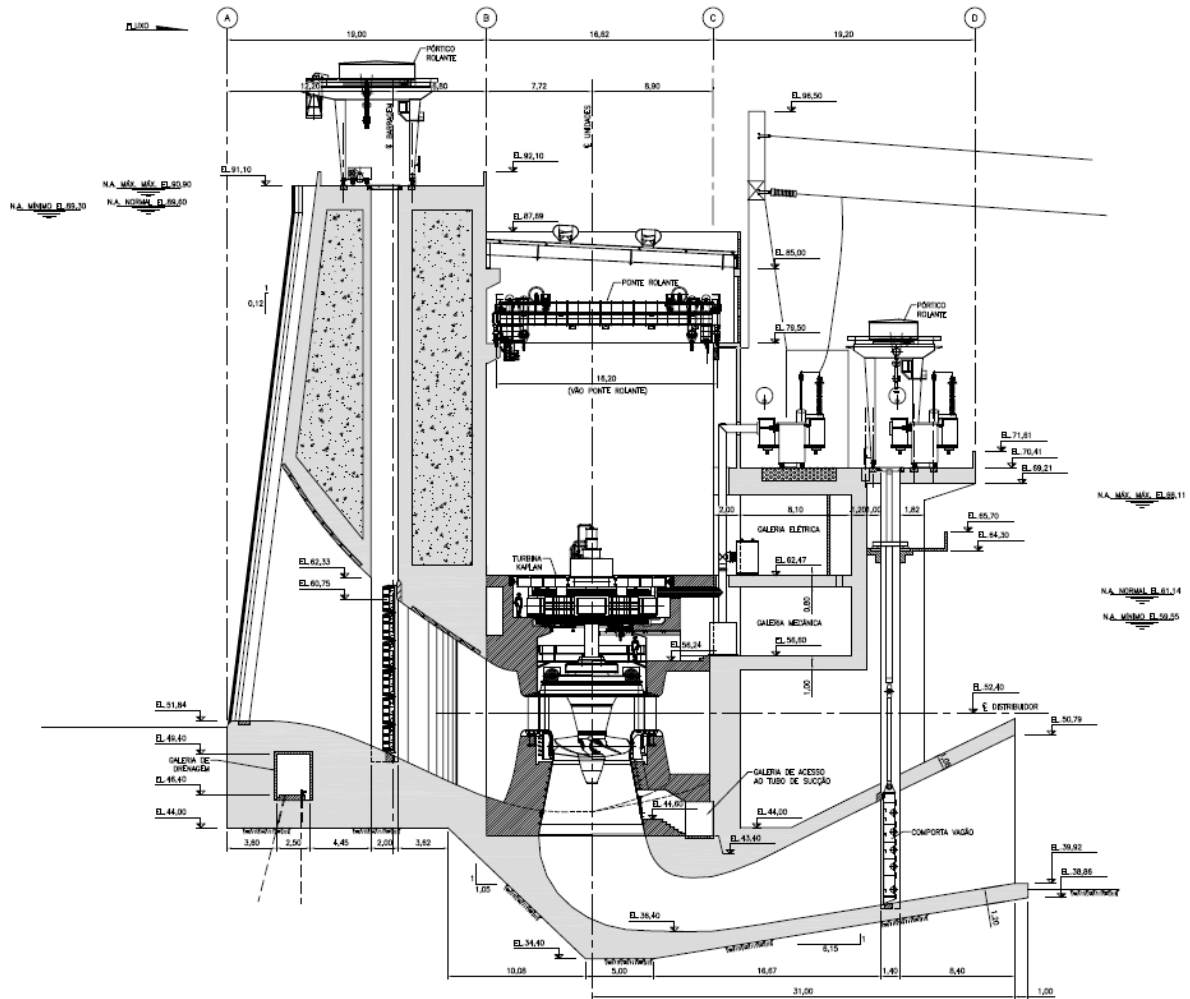


Figura 2.2 – Casa de Força e Tomada de Água – Corte Transversal

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	53,00	100% Operantes	Parada forçada das máquinas
CCL 1	90,90	68,11	100% Inoperantes	Peso de Água - 1 Unidade Geradora
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 e drenos 100% operantes;
- CCE1 – Caso de Carregamento Excepcional 1: Nível de água máximo maximorum (TR=10.000 anos) à montante e à jusante e drenos 100% operantes;
- CCE2 – Caso de Carregamento Excepcional 2: Nível de água máximo normal à montante e à jusante e drenos 100% inoperantes;
- CCE3 – Caso de Carregamento Excepcional 3: Nível de água máximo normal à montante e à jusante, drenos 100% operantes e efeito sísmico;
- CCE4 – Caso de Carregamento Excepcional 4: Nível de água máximo normal à montante; nível máximo à jusante no canal de fuga após parada forçada das unidades geradoras e drenos 100% operantes;
- CCL1 – Caso de Carregamento Limite 1: Nível de água máximo maximorum (TR=10.000 anos) à montante e à jusante, drenos 100% inoperantes e considerando peso de água dentro de uma unidade geradora;
- CCL2 – Caso de Carregamento Limite 2: Nível de água máximo maximorum (TR=10.000 anos) à montante e à jusante, drenos 100% operantes e efeito sísmico;
- CCL3 – Caso de Carregamento Limite 3: Nível de água máximo normal à montante e à jusante, drenos 100% inoperantes e efeito sísmico.

Apresenta-se no item 4, o cálculo da estabilidade da Casa de Força e Tomada de Água da UHE Itaipava I, conforme o modelo apresentado a seguir.

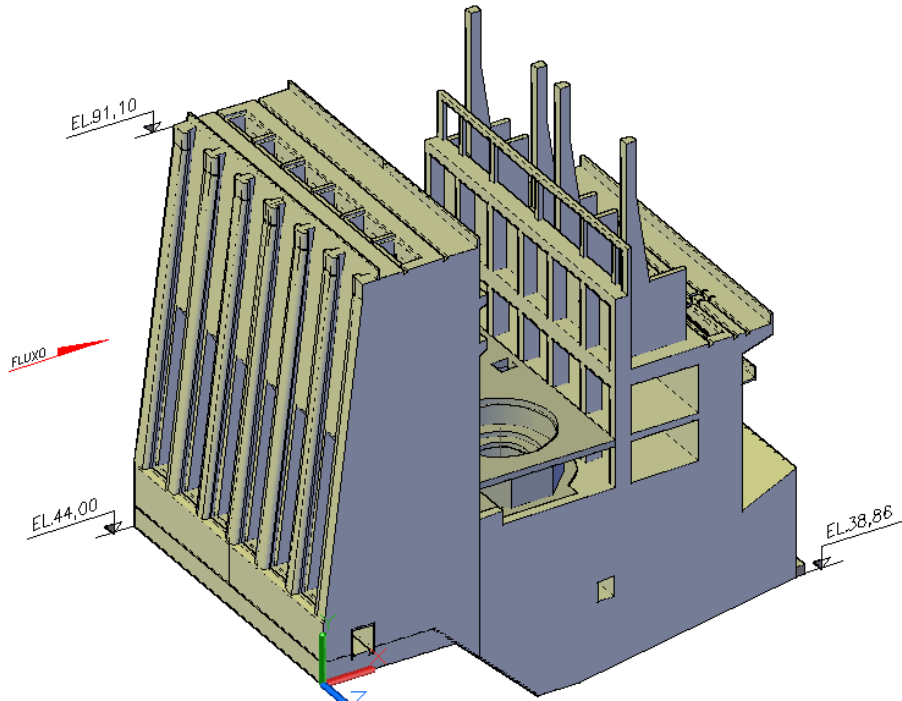


Figura 3.1 – Casa de Força e Tomada de Água – Visualização 3D – Vista de montante

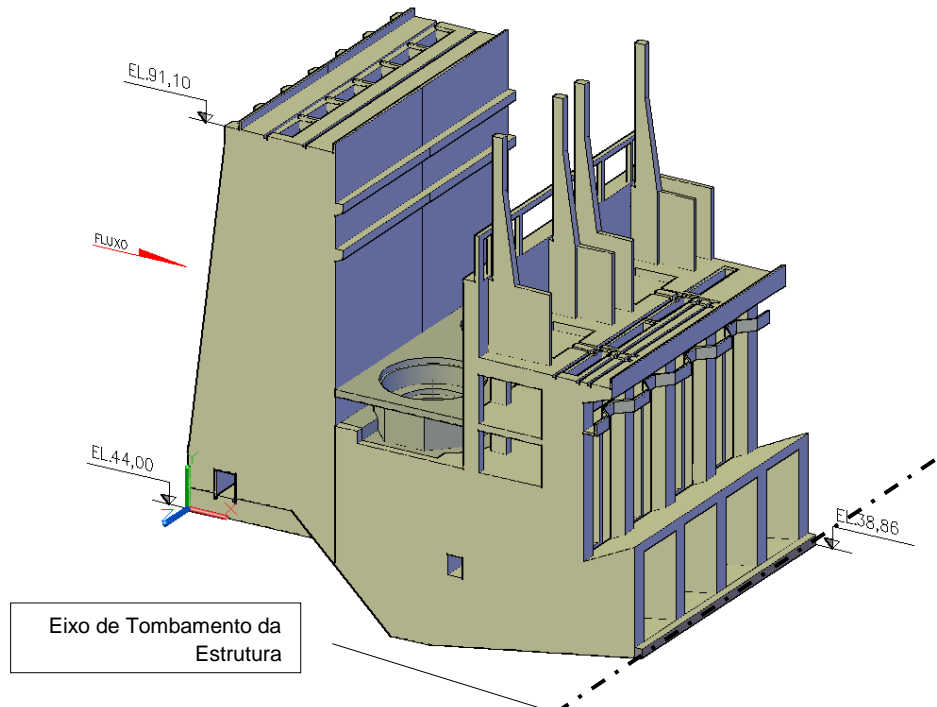


Figura 3.2 – Casa de Força e Tomada de Água – Visualização 3D – Vista de jusante

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.

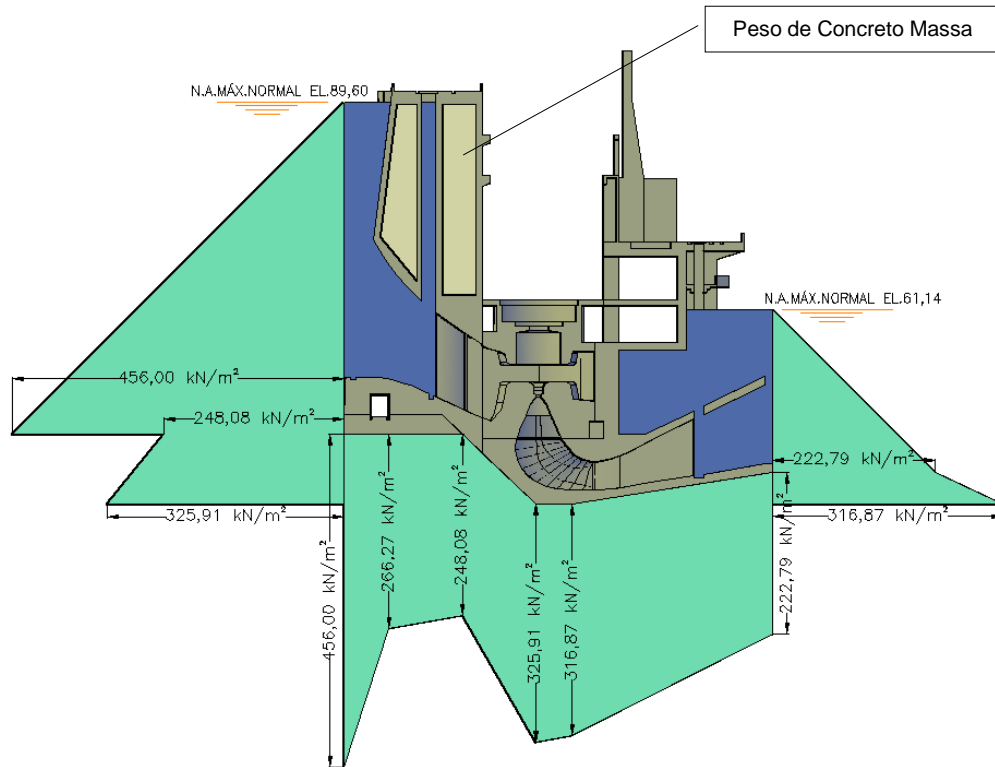


Figura 3.3 – Carregamentos CCN – Seção

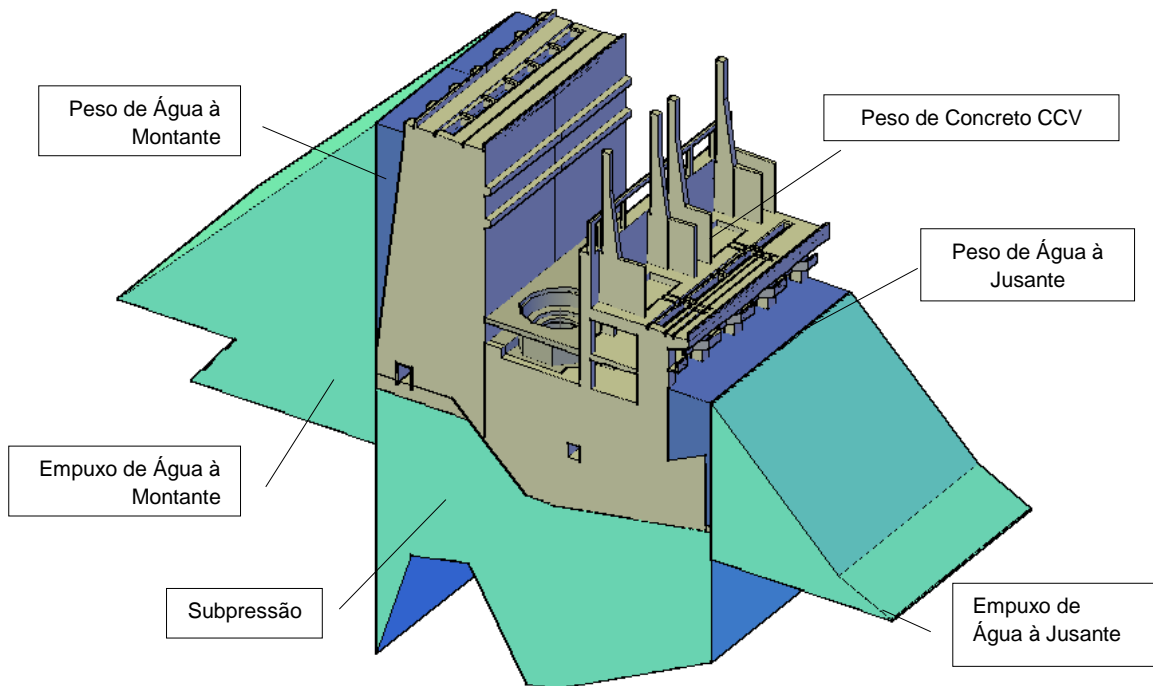


Figura 3.4 – Carregamentos CCN – Visualização 3D

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.

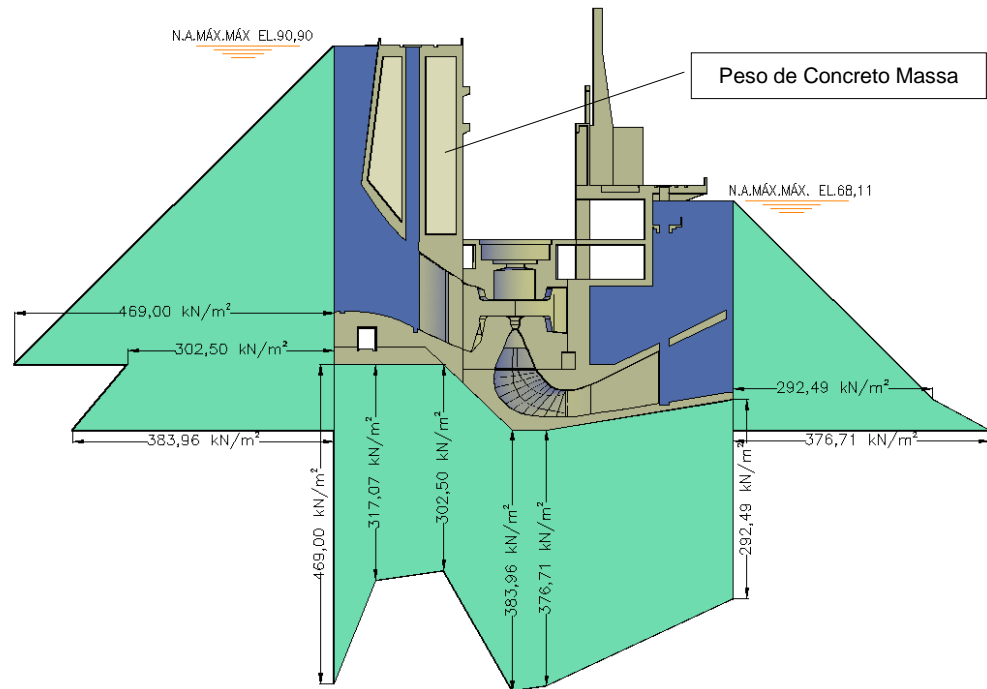


Figura 3.5 – Carregamentos CCE1 – Seção

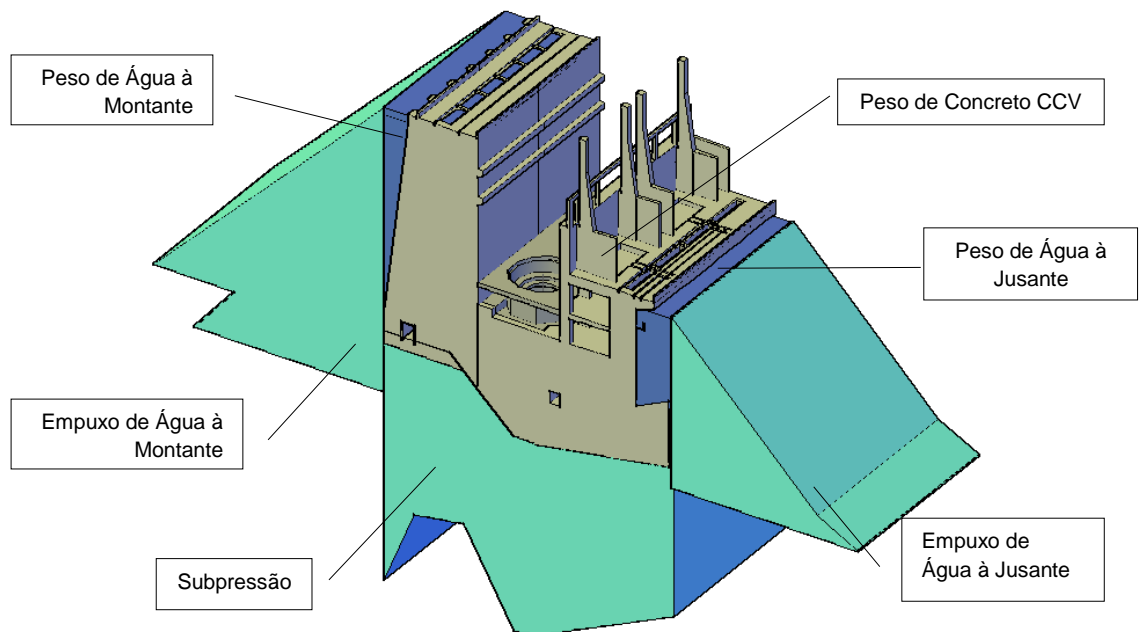


Figura 3.6 – Carregamentos CCE1 – Visualização 3D

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.

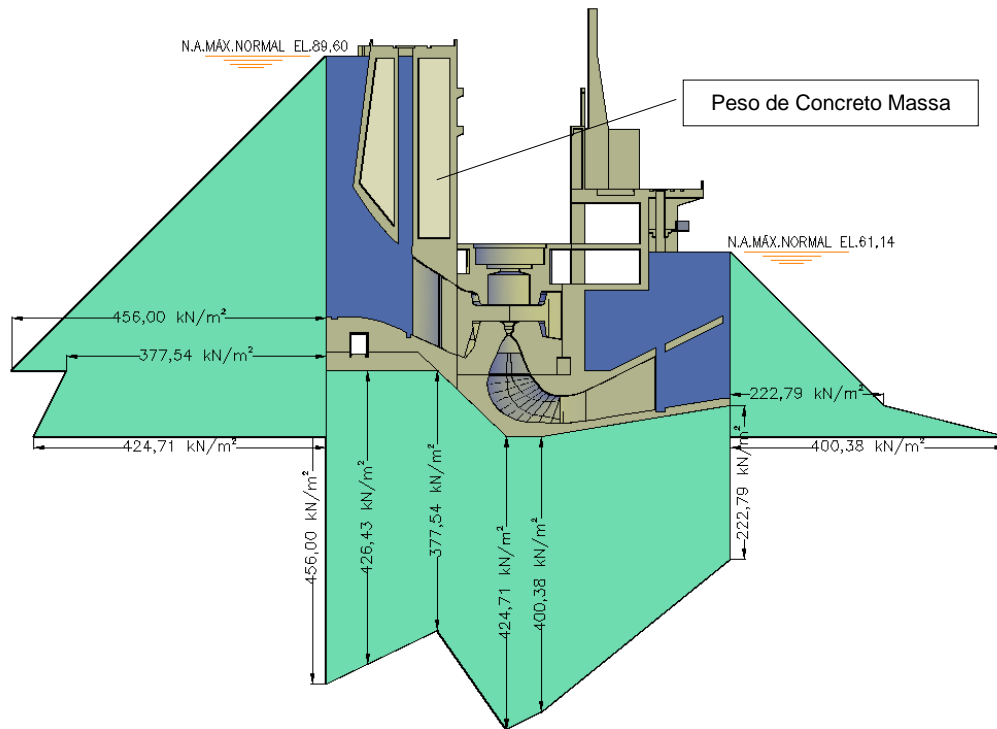


Figura 3.7 – Carregamentos CCE2 – Seção

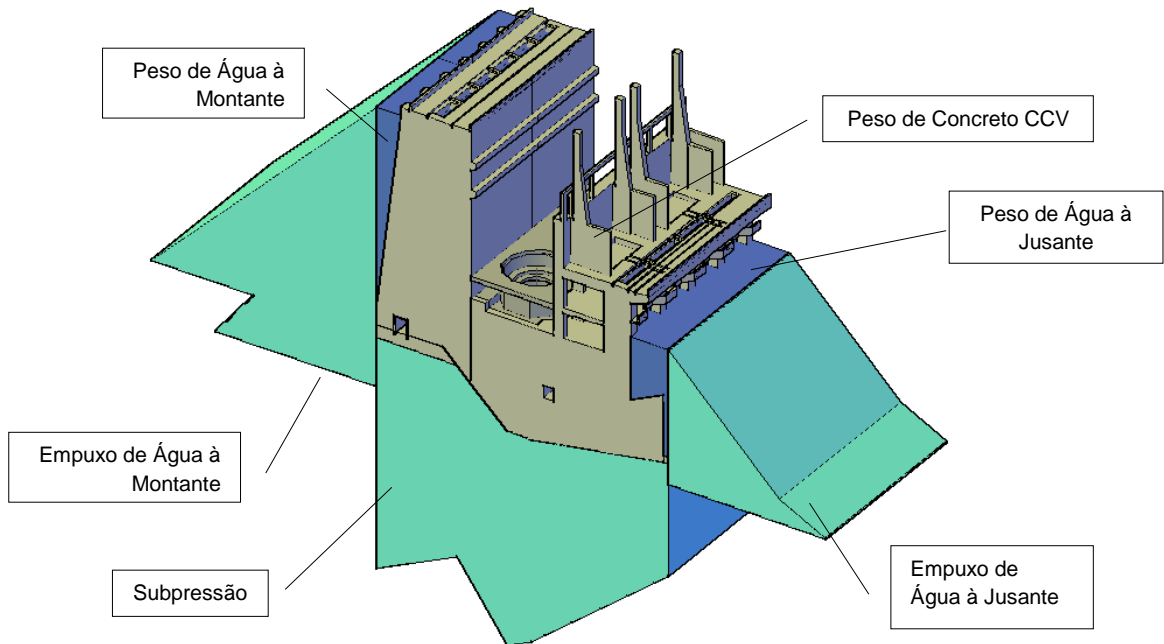


Figura 3.8 – Carregamentos CCE2 – Visualização 3D

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.

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

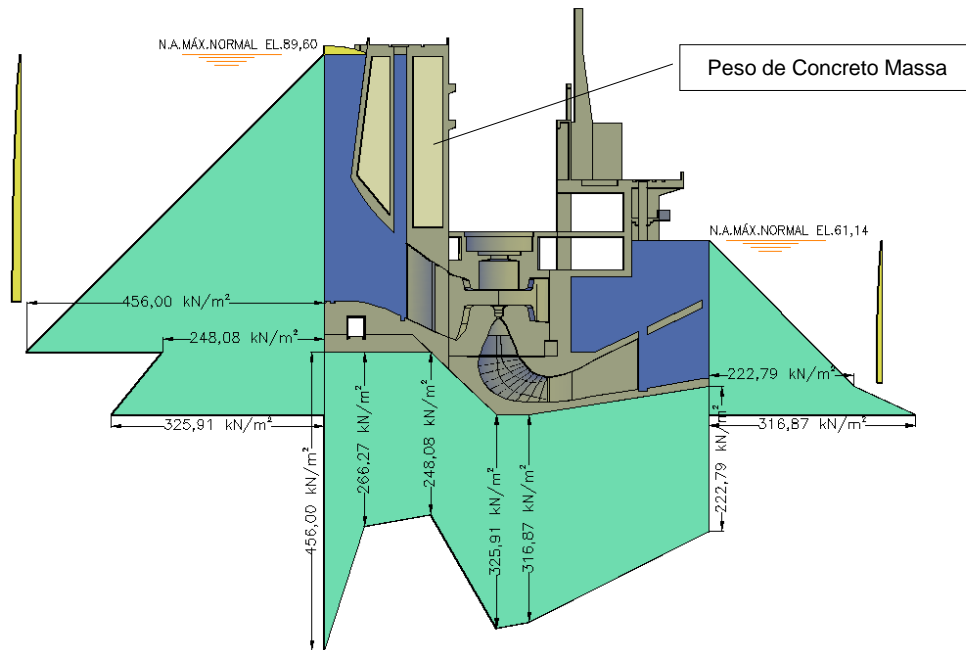


Figura 3.9 – Carregamentos CCE3 – Seção

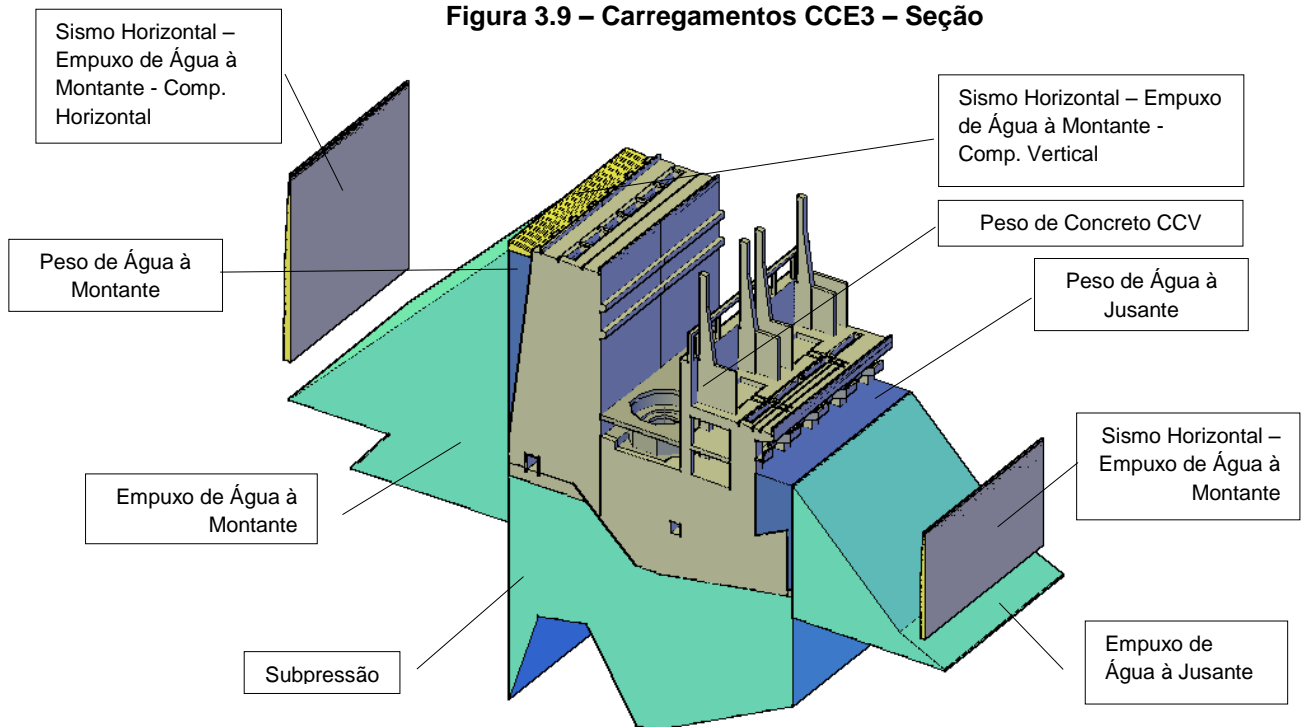


Figura 3.10 – Carregamentos CCE3 – Visualização 3D

3.5 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4

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

N.A. Máximo no Canal de Fuga (parada forçada das máquinas): 53,00 m

Drenos 100% operantes.

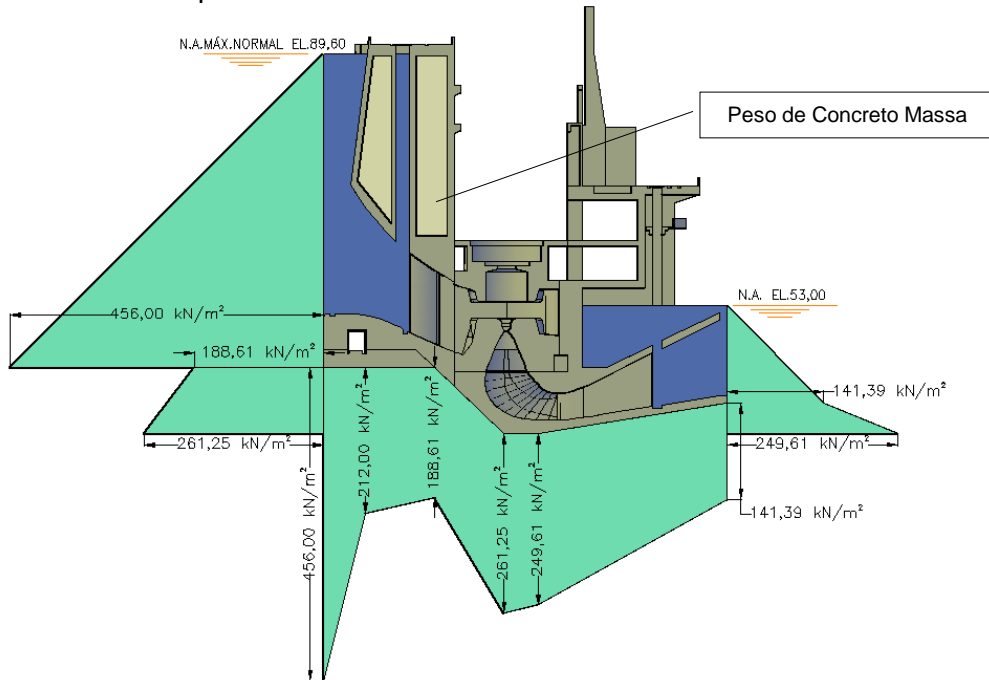


Figura 3.11 – Carregamentos CCE4 – Seção

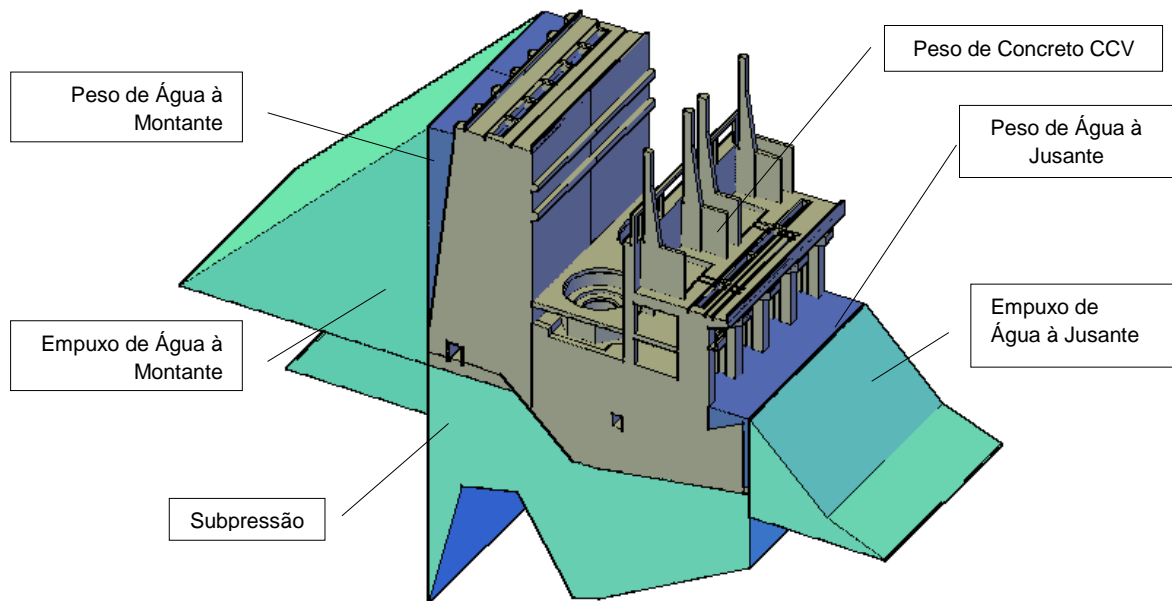


Figura 3.12 – Carregamentos CCE4 – Visualização 3D

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.

Peso de água dentro de uma unidade geradora

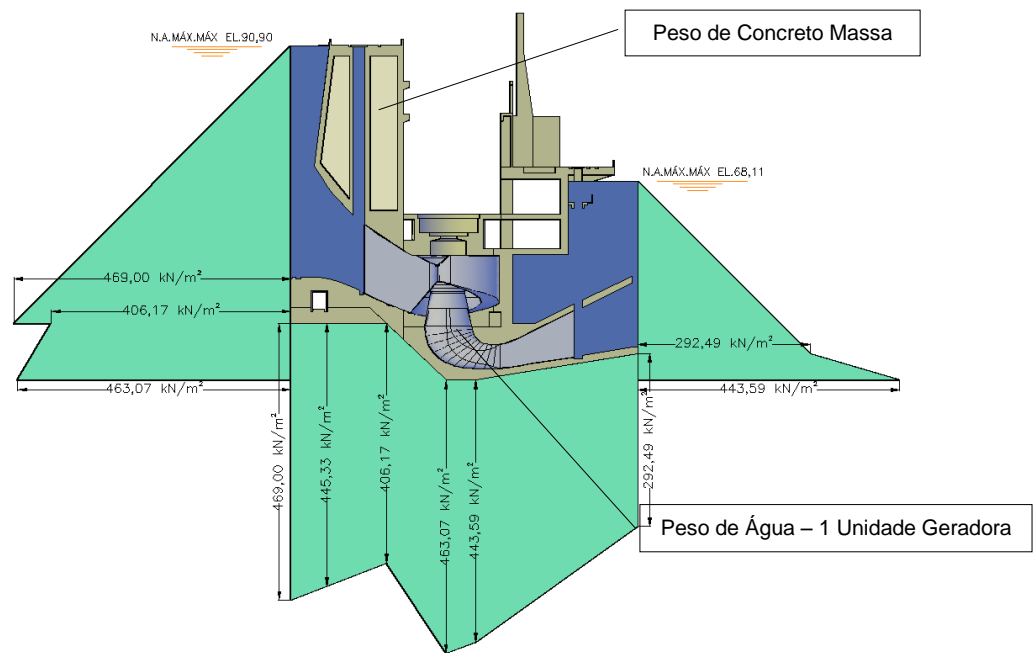


Figura 3.13 – Carregamentos CCL1 – Seção

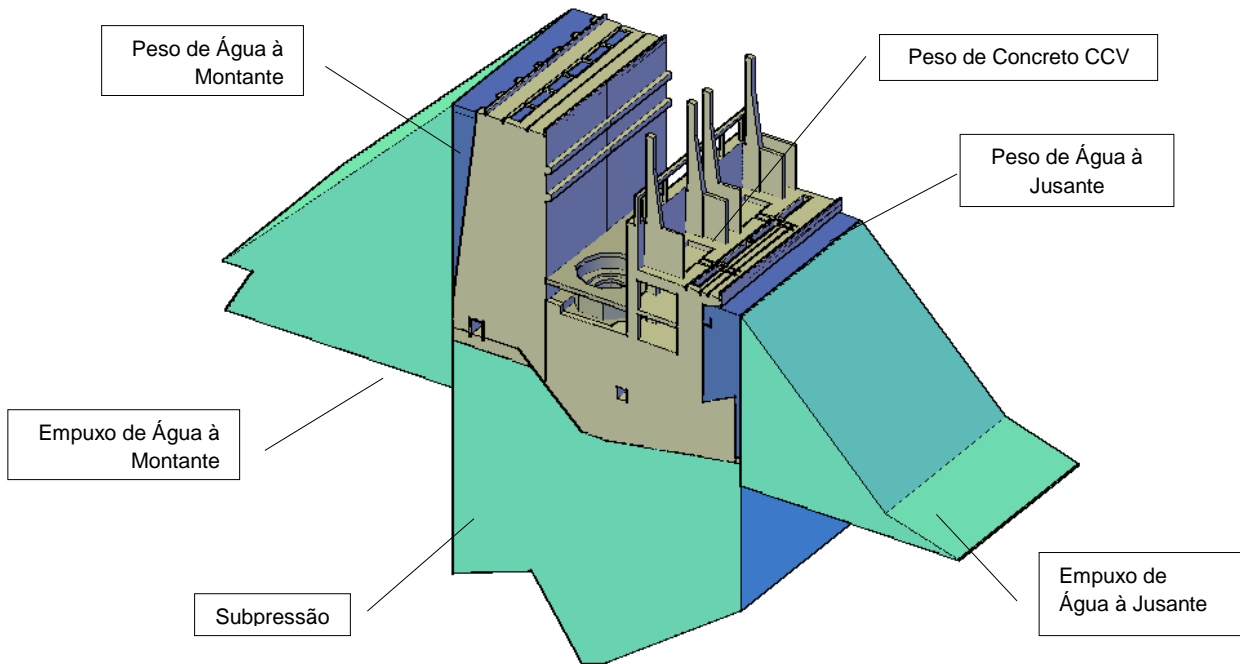


Figura 3.14 – Carregamentos CCL1 – Visualização 3D

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.

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

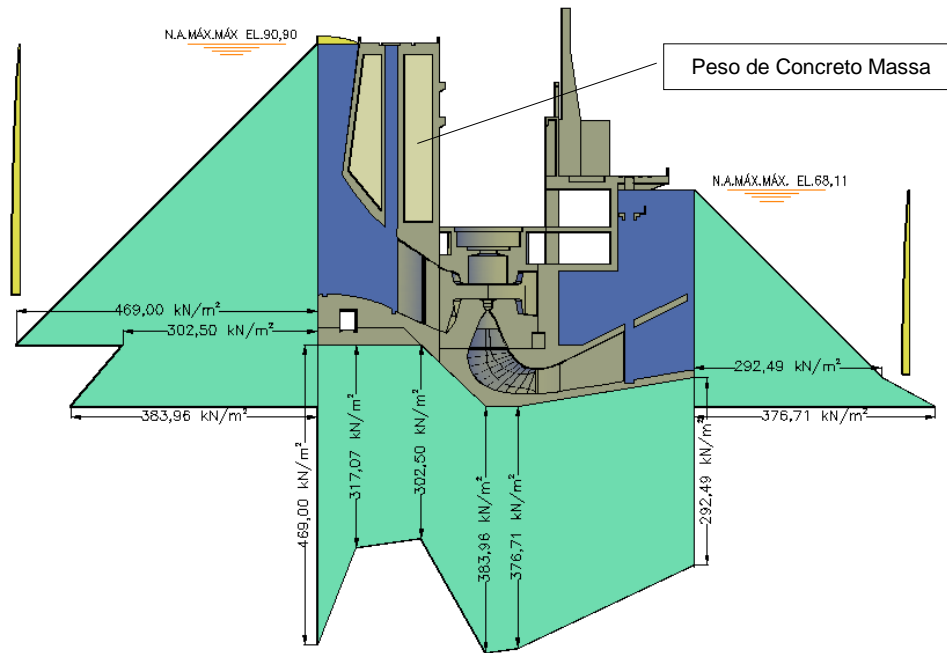


Figura 3.15 – Carregamentos CCL2 – Seção

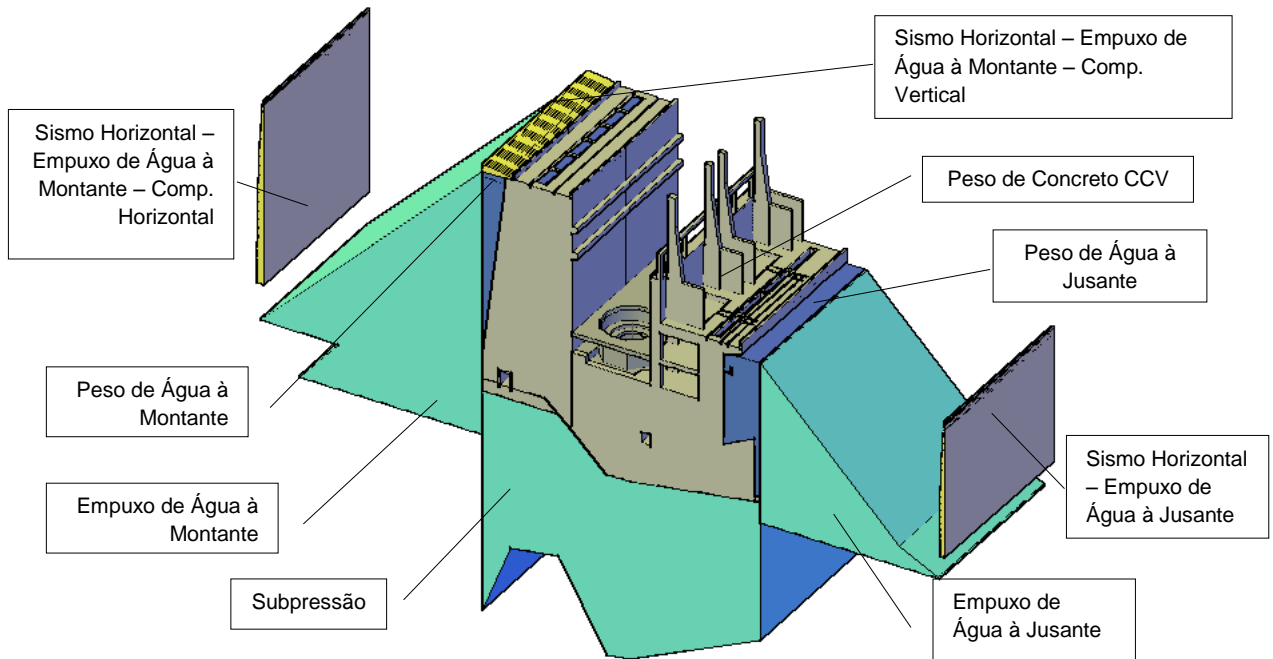


Figura 3.16 – Carregamentos CCL2 – Visualização 3D

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.

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

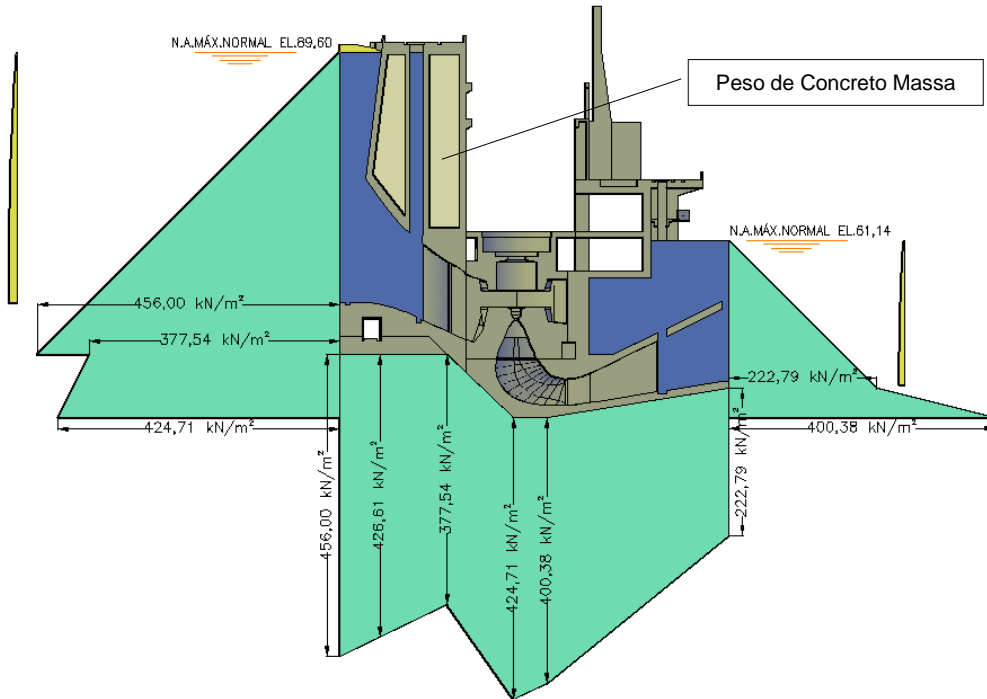
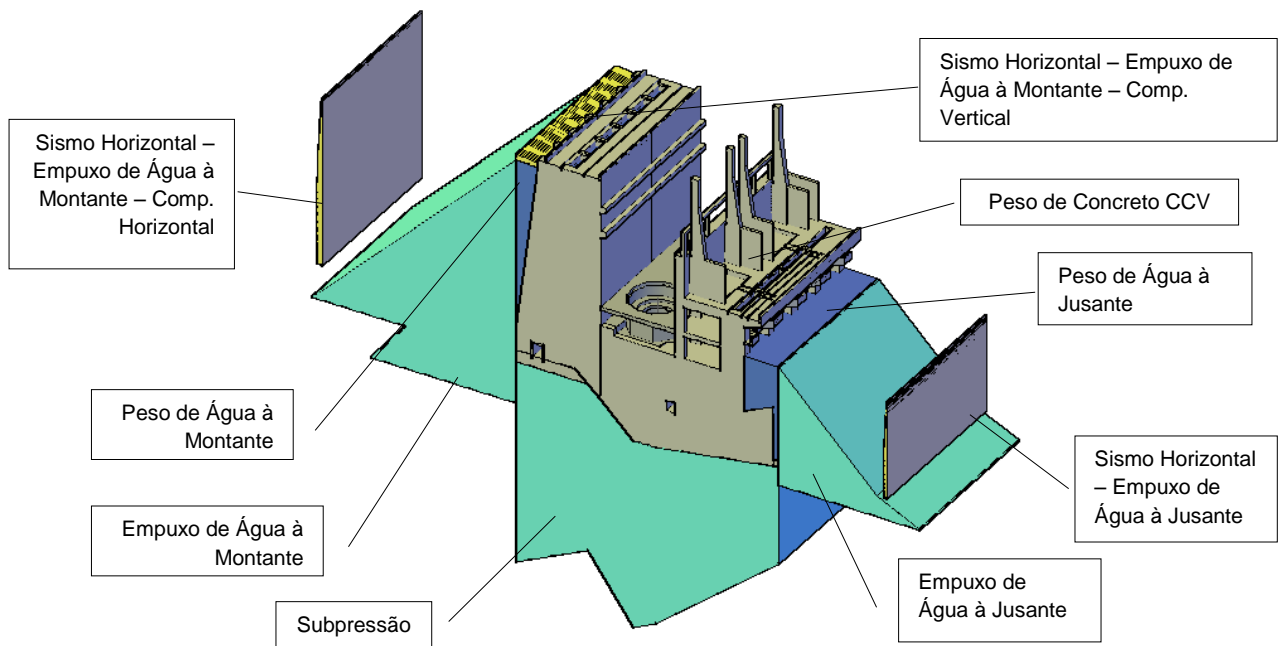


Figura 3.17 – Carregamentos CCL3 – Seção





UHE ITAOCARA I

Figura 3.18 – 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 - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA						
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)	EXCENRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
				e _x	e _y	
Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	V ₁ = -816.189,12	34,45		M ₁ = 28.117.715,18
Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	V ₂ = -111.911,52	46,16		M ₂ = 5.165.835,76
Peso de Água à Montante	10.208,93	10,00	V ₃ = -102.089,30	53,26		M ₃ = 5.437.276,12
Peso de Água à Jusante	10.412,61	10,00	V ₄ = -104.126,10	8,54		M ₄ = 889.236,89
Empuxo de Água à Montante	49.214,69	10,00	T ₁ = 492.146,90		16,10	M ₅ = -7.923.565,09
Empuxo de Água à Jusante	13.791,01	10,00	T ₂ = -137.910,10		4,23	M ₆ = 583.359,72
Subpressão	62.512,10	10,00	U = 625.121,00	30,55		M ₇ = -19.097.446,55

PONTO DE TOMBAMENTO X_t = 58,72 Y_t = - 5,14

$\Sigma V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$	1.134.316,04 kN	$\Sigma M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_6$
$\Sigma U =$	625.121,00 kN	$\Sigma M_E = 40.193.423,68 \text{ kNxm}$
$\Sigma V - \Sigma U =$	509.195,04 kN	$\Sigma M_T = M_5 + M_7$
$\Sigma T_1, \text{MONTANTE} = T_1$	492.146,90 kN	$\Sigma M_T = 27.021.011,64 \text{ kNxm}$
$\Sigma T_1, \text{JUSANTE} = T_2$	137.910,10 kN	

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\Sigma V}{\Sigma U}$	=	1,81 > 1,30	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\Sigma M_E}{\Sigma M_T}$	=	1,49 < 1,50	(VER ITEM 1.4.)
BASE 100% COMPRIMIDA			

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA					
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)	α (°)	sen α	cos α
1 - 2	32.198,46	37.713,22	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	62.130,05	62.381,38	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	100.899,75	78.762,85	43,6	0,6900	0,7238
4 - 5	40.520,11	25.802,27	0,0	0,0000	1,0000
5 - 6	273.396,73	149.622,40	9,2	0,1604	0,9870

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	32.198,46	37.713,22
2 - 3	62.130,05	62.381,38
3 - 4	18.683,36	126.630,48
4 - 5	40.520,11	25.802,27
5 - 6	293.859,52	103.823,00
Σ	447.391,50	356.350,36

DESLIZAMENTO - FSD \emptyset - SEM COESÃO (C=0)		$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	= 1,05 < 1,50	VERIFICAR COESÃO

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO	
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	= 1,00 > 1,00 OK
A COESÃO NECESSÁRIA É C = 136 kN/m ² A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²	
$\phi = 40^\circ$ FSD \emptyset = 1,50 FSDc = 3,00 A _i = 2.354,57 m ²	

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL	
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	= 1,58 > 1,00 OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²	
$\phi = 40^\circ$ FSD \emptyset = 1,50 FSDc = 3,00 A _i = 2.354,57 m ²	

UHE ITAOCARA I

4.2 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA						
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)*		MOMENTO (kNxm)
				e _x	e _y	
Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	V ₁ = -816.189,12	34,45		M ₁ = 28.117.715,18
Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	V ₂ = -111.911,52	46,16		M ₂ = 5.165.835,76
Peso de Água à Montante	10.569,76	10,00	V ₃ = -105.697,60	53,29		M ₃ = 5.632.625,10
Peso de Água à Jusante	13.176,18	10,00	V ₄ = -131.761,80	7,90		M ₄ = 1.040.918,22
Empuxo de Água à Montante	53.484,61	10,00	T ₁ = 534.846,10		16,02	M ₅ = -8.568.234,52
Empuxo de Água à Jusante	21.591,97	10,00	T ₂ = -215.919,70		6,63	M ₆ = 1.431.547,61
Subpressão	75.102,11	10,00	U = 751.021,10	29,90		M ₇ = -22.455.530,89

PONTO DE TOMBAMENTO $X_t = 58,72$ $Y_t = -5,14$

$\Sigma V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$	1.165.560,04 kN	$\Sigma M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_6$
$\Sigma U =$	751.021,10 kN	$\Sigma M_E = 41.388.641,88$ kNxm
$\Sigma V - \Sigma U =$	414.538,94 kN	$\Sigma M_T = M_5 + M_7$
$\Sigma T_{i, \text{MONTANTE}} = T_1$	534.846,10 kN	$\Sigma M_T = 31.023.765,41$ kNxm
$\Sigma T_{i, \text{JUSANTE}} = T_2$	215.919,70 kN	

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\Sigma V}{\Sigma U}$	=	1,55 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\Sigma M_E}{\Sigma M_T}$	=	1,33 > 1,20	OK

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA					
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)	α (°)	sen α	cos α
1 - 2	23.059,48	34.284,04	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	46.997,38	56.709,18	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	80.006,53	70.954,65	43,6	0,6900	0,7238
4 - 5	32.974,05	22.989,61	0,0	0,0000	1,0000
5 - 6	231.519,85	134.034,16	9,2	0,1604	0,9870

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	23.059,48	34.284,04
2 - 3	46.997,38	56.709,18
3 - 4	8.948,70	106.562,32
4 - 5	32.974,05	22.989,61
5 - 6	250.024,23	95.155,04
Σ	362.003,85	315.700,19

DESILIZAMENTO - FSD \emptyset - SEM COESÃO (C=0)		$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	= 0,96 < 1,10	VERIFICAR COESÃO

DESILIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO	
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	= 1,00 > 1,00 OK
A COESÃO NECESSÁRIA É C = 25 kN/m ²	$\phi = 40^\circ$ FSD \emptyset = 1,10 FSDc = 1,50 A _i = 2.354,57 m ²
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²	

DESILIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL	
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	= 2,86 > 1,00 OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²	$\phi = 40^\circ$ FSD \emptyset = 1,10 FSDc = 1,50 A _i = 2.354,57 m ²

UHE ITAOCARA I

4.3 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA 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 _x	e _y	
Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	V ₁ = -816.189,12	34,45		M ₁ = 28.117.715,18
Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	V ₂ = -111.911,52	46,16		M ₂ = 5.165.835,76
Peso de Água à Montante	10.208,93	10,00	V ₃ = -102.089,30	53,26		M ₃ = 5.437.276,12
Peso de Água à Jusante	10.412,61	10,00	V ₄ = -104.126,10	8,54		M ₄ = 889.236,89
Empuxo de Água à Montante	53.314,58	10,00	T ₁ = 533.145,80		14,91	M ₅ = -7.949.203,88
Empuxo de Água à Jusante	14.488,07	10,00	T ₂ = -144.880,70		3,88	M ₆ = 562.137,12
Subpressão	80.107,91	10,00	U = 801.079,10	31,99		M ₇ = -25.626.520,41

PONTO DE TOMBAMENTO X_t = 58,72 Y_t = - 5,14

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$	1.134.316,04 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_6$
$\sum U =$	801.079,10 kN	$\sum M_E = 40.172.201,08 \text{ kNxm}$
$\sum V - \sum U =$	333.236,94 kN	$\sum M_T = M_5 + M_7$
$\sum T_{1, \text{MONTANTE}} = T_1$	533.145,80 kN	$\sum M_T = 33.575.724,29 \text{ kNxm}$
$\sum T_{1, \text{JUSANTE}} = T_2$	144.880,70 kN	

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	1,42 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,20 > 1,20	OK

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA					
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)	α (°)	sen α	cos α
1 - 2	3.446,07	43.309,40	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	20.614,21	71.638,01	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	54.031,45	86.585,32	43,6	0,6900	0,7238
4 - 5	26.411,56	26.841,90	0,0	0,0000	1,0000
5 - 6	228.649,69	159.966,69	9,2	0,1604	0,9870

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	3.446,07	43.309,40
2 - 3	20.614,21	71.638,01
3 - 4	-20.637,34	99.952,57
4 - 5	26.411,56	26.841,90
5 - 6	251.351,63	121.212,12
Σ	281.186,13	362.953,99

DESLIZAMENTO - FSD \emptyset - SEM COESÃO (C=0)			$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	=	0,65 < 1,10	VERIFICAR COESÃO

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO			
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	=	1,00 > 1,00	OK
A COESÃO NECESSÁRIA É C = 95 kN/m ² A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²			$\phi = 40^\circ$ FSD \emptyset = 1,10 FSDc = 1,50 A _i = 2.354,57 m ²

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL			
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	=	2,32 > 1,00	OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²			$\phi = 40^\circ$ FSD \emptyset = 1,10 FSDc = 1,50 A _i = 2.354,57 m ²

4.4 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA 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)	EXCENTRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
					e _x	e _y	
Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00		V ₁ = -816.189,12	34,45		M ₁ = 28.117.715,18
Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00		V ₂ = -111.911,52	46,16		M ₂ = 5.165.835,76
Peso de Água à Montante	10.208,93	10,00		V ₃ = -102.089,30	53,26		M ₃ = 5.437.276,12
Peso de Água à Jusante	10.412,61	10,00		V ₄ = -104.126,10	8,54		M ₄ = 889.236,89
Empuxo de Água à Montante	49.214,69	10,00		T ₁ = 492.146,90		16,10	M ₅ = -7.923.565,09
Empuxo de Água à Jusante	13.791,01	10,00		T ₂ = -137.910,10		4,23	M ₆ = 583.359,72
Sismo Horizontal - Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	0,05	T ₃ = 40.809,46		18,51	M ₇ = -755.383,03
Sismo Vertical - Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	0,03	V ₅ = 24.485,67	34,45		M ₈ = -843.531,46
Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	10.208,93	10,00	0,03	V ₆ = 3.062,68	53,26		M ₉ = -163.118,28
Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	10.412,61	10,00	0,03	V ₇ = 3.123,78	8,54		M ₁₀ = -26.677,11
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Horizontal	1.297,81	10,00	1,00	T ₄ = 12.978,10		28,14	M ₁₁ = -365.203,73
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Vertical	210,81	10,00	1,00	V ₈ = -2.108,10	56,27		M ₁₂ = 118.622,79
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante	459,24	10,00	1,00	T ₅ = 4.592,40		9,30	M ₁₃ = -42.709,32
Sismo Horizontal - Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	0,05	T ₆ = 5.595,58		37,93	M ₁₄ = -212.240,20
Sismo Vertical - Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	0,03	V ₉ = 3.357,35	46,16		M ₁₅ = -154.975,07
Sismo Horizontal - Peso de Água Confinada	1.604,52	10,00	0,05	T ₇ = 802,26		37,11	M ₁₆ = -29.771,87
Subpressão	62.510,48	10,00		U = 625.104,80	30,55		M ₁₇ = -19.096.951,64

PONTO DE TOMBAMENTO X_t = 58,72 Y_t = -5,14

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9$	1.102.394,66 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_6 + M_{12}$
$\sum U =$	625.104,80 kN	$\sum M_E = 40.312.046,47 \text{ kNxm}$
$\sum V - \sum U =$	477.289,86 kN	
$\sum T_{i, \text{MONTANTE}} = T_1 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7$	556.924,69 kN	$\sum M_T = M_5 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10} + M_{11} + M_{13} + M_{14} + M_{15} + M_{16} + M_{17}$
$\sum T_{i, \text{JUSANTE}} = T_2$	137.910,10 kN	$\sum M_T = 29.614.126,80 \text{ kNxm}$

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	1,76 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,36 > 1,20	OK

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA					
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)	α (°)	sen α	cos α
1 - 2	15.802,33	46.606,43	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	41.884,10	77.091,63	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	84.787,31	93.425,36	43,6	0,6900	0,7238
4 - 5	37.894,43	29.064,64	0,0	0,0000	1,0000
5 - 6	296.833,05	172.906,99	9,2	0,1604	0,9870

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	15.802,33	46.606,43
2 - 3	41.884,10	77.091,63
3 - 4	-3.096,10	126.125,33
4 - 5	37.894,43	29.064,64
5 - 6	320.727,85	123.046,08
Σ	413.212,60	401.934,11

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		OK
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	= 1,00 > 1,00	OK
A COESÃO NECESSÁRIA É C = 56 kN/m ²		$\phi = 40^\circ$
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²		FSD \emptyset = 1,10
		FSDc = 1,50
		A _i = 2.354,57 m ²

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL		OK
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	= 2,35 > 1,00	OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²		$\phi = 40^\circ$
		FSD \emptyset = 1,10
		FSDc = 1,50
		A _i = 2.354,57 m ²

UHE ITAOCARA I

4.5 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA						
CCE4 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 53,00m)						
ESFORÇOS	VOLUME (m³)	γ (kN/m³)	FORÇA (kN)	EXCENTRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
				e _x	e _y	
Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	V ₁ = -816.189,12	34,45		M ₁ = 28.117.715,18
Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	V ₂ = -111.911,52	46,16		M ₂ = 5.165.835,76
Peso de Água à Montante	10.208,93	10,00	V ₃ = -102.089,30	53,26		M ₃ = 5.437.276,12
Peso de Água à Jusante	6.453,25	10,00	V ₄ = -64.532,50	9,24		M ₄ = 596.280,30
Empuxo de Água à Montante	46.985,08	10,00	T ₁ = 469.850,80		16,86	M ₅ = -7.921.684,49
Empuxo de Água à Jusante	7.004,36	10,00	T ₂ = -70.043,60		1,38	M ₆ = 96.660,17
Subpressão	48.536,09	10,00	U = 485.360,90	31,89		M ₇ = -15.478.159,10

PONTO DE TOMBAMENTO X_t = 58,72 Y_t = - 5,14

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$	1.094.722,44 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_6$
$\sum U =$	485.360,90 kN	$\sum M_E = 39.413.767,53 \text{ kNxm}$
$\sum V - \sum U =$	609.361,54 kN	$\sum M_T = M_5 + M_7$
$\sum T_i, \text{ MONTANTE} = T_1$	469.850,80 kN	$\sum M_T = 23.399.843,59 \text{ kNxm}$
$\sum T_i, \text{ JUSANTE} = T_2$	70.043,60 kN	

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	2,26 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,68 > 1,20	OK

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA					
CCE4 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 53,00m)					
CÁLCULO DO DESLIZAMENTO CONSIDERANDO TENSÕES NORMAIS E TANGENCIAIS PELO PROCESSO DE NIGAM					
	RESULTANTE DA FORÇA VERTICAL - V (kN)	RESULTANTE DA FORÇA HORIZONTAL - H (kN)	α (°)	sen α	cos α
1 - 2	40.709,92	42.366,56	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	76.828,52	70.078,46	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	122.230,94	88.869,45	43,6	0,6900	0,7238
4 - 5	48.504,18	29.266,13	0,0	0,0000	1,0000
5 - 6	321.034,54	169.275,09	9,2	0,1604	0,9870

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	40.709,92	42.366,56
2 - 3	76.828,52	70.078,46
3 - 4	27.149,09	148.664,42
4 - 5	48.504,18	29.266,13
5 - 6	344.033,19	115.578,54
Σ	537.224,90	405.954,12

DESLIZAMENTO - FSD\emptyset - SEM COESÃO (C=0)			$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	=	1,11 > 1,10	OK

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL			
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	=	2,56 > 1,00	OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²			$\phi = 40^\circ$ FSD $\emptyset = 1,10$ FSDc = 1,50 A _i = 2.354,57 m ²

UHE ITAOCARA I

4.6 CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA						
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)*		MOMENTO (kNxm)
				e _x	e _y	
Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	V ₁ = -816.189,12	34,45		M ₁ = 28.117.715,18
Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	V ₂ = -111.911,52	46,16		M ₂ = 5.165.835,76
Peso de Água à Montante	10.569,76	10,00	V ₃ = -105.697,60	53,29		M ₃ = 5.632.625,10
Peso de Água à Jusante	13.176,18	10,00	V ₄ = -131.761,80	7,90		M ₄ = 1.040.918,22
Empuxo de Água à Montante	56.767,67	10,00	T ₁ = 567.676,70		15,12	M ₅ = -8.583.271,70
Empuxo de Água à Jusante	22.150,16	10,00	T ₂ = -221.501,60		6,39	M ₆ = 1.415.395,22
Peso de Água - 1 Unidade Geradora	4.443,13	10,00	V ₅ = -44.431,30	30,59		M ₇ = 1.359.153,47
Subpressão	89.193,85	10,00	U = 891.938,50	31,04		M ₈ = -27.685.771,04

PONTO DE TOMBAMENTO X_t = 58,72 Y_t = -5,14

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$	1.209.991,34 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_6 + M_7$
$\sum U =$	891.938,50 kN	$\sum M_E = 42.731.642,96 \text{ kNxm}$
$\sum V - \sum U =$	318.052,84 kN	$\sum M_T = M_5 + M_8$
$\sum T_{i, \text{MONTANTE}} = T_1$	567.676,70 kN	$\sum M_T = 36.269.042,74 \text{ kNxm}$
$\sum T_{i, \text{JUSANTE}} = T_2$	221.501,60 kN	

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	1,36 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,18 > 1,10	OK

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA					
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)	α (°)	sen α	cos α
1 - 2	4.735,62	38.686,52	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	21.320,12	63.991,30	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	52.554,44	77.208,38	43,6	0,6900	0,7238
4 - 5	25.216,84	23.879,53	0,0	0,0000	1,0000
5 - 6	214.149,89	142.478,29	9,2	0,1604	0,9870

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	4.735,62	38.686,52
2 - 3	21.320,12	63.991,30
3 - 4	-15.236,17	92.146,42
4 - 5	25.216,84	23.879,53
5 - 6	234.233,97	106.276,47
Σ	270.270,37	324.980,23

DESLIZAMENTO - FSD \emptyset - SEM COESÃO (C=0)			$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	=	0,70 < 1,10	VERIFICAR COESÃO

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO			OK
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	=	1,00 > 1,00	OK
A COESÃO NECESSÁRIA É C = 66 kN/m ² A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²			$\phi = 40^\circ$ FSD \emptyset = 1,10 FSDc = 1,30 A _i = 2.354,57 m ²

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL			OK
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	=	2,86 > 1,00	OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²			$\phi = 40^\circ$ FSD \emptyset = 1,10 FSDc = 1,30 A _i = 2.354,57 m ²

4.7 CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA 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)	EXCENTRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNxm)
					e _x	e _y	
Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00		V ₁ = -816.189,12	34,45		M ₁ = 28.117.715,18
Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00		V ₂ = -111.911,52	46,16		M ₂ = 5.165.835,76
Peso de Água à Montante	10.569,76	10,00		V ₃ = -105.697,60	53,29		M ₃ = 5.632.625,10
Peso de Água à Jusante	13.176,18	10,00		V ₄ = -131.761,80	7,90		M ₄ = 1.040.918,22
Empuxo de Água à Montante	53.484,61	10,00		T ₁ = 534.846,10		16,02	M ₅ = -8.568.234,52
Empuxo de Água à Jusante	21.591,97	10,00		T ₂ = -215.919,70		6,63	M ₆ = 1.431.547,61
Sismo Horizontal - Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	0,05	T ₃ = 40.809,46		18,51	M ₇ = -755.383,03
Sismo Vertical - Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	0,03	V ₅ = 24.485,67	34,45		M ₈ = -843.531,46
Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	10.569,76	10,00	0,03	V ₆ = 3.170,93	53,29		M ₉ = -168.978,75
Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	13.176,18	10,00	0,03	V ₇ = 3.952,85	7,90		M _# = -31.227,55
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Horizontal	1.388,77	10,00	1,00	T ₄ = 13.887,70		28,66	M _# = -398.021,48
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Vertical	228,33	10,00	1,00	V ₈ = -2.283,30	56,15		M _# = 128.207,30
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante	801,77	10,00	1,00	T ₅ = 8.017,70		12,10	M _# = -97.014,17
Sismo Horizontal - Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	0,05	T ₆ = 5.595,58		37,93	M _# = -212.240,20
Sismo Vertical - Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	0,03	V ₉ = 3.357,35	46,16		M _# = -154.975,07
Sismo Horizontal - Peso de Água Confinada	1.675,14	10,00	0,05	T ₇ = 837,57		37,71	M _# = -31.584,76
Subpressão	75.102,11	10,00		U = 751.021,10	29,90		M _# = -22.455.530,89

PONTO DE TOMBAMENTO X_l = 58,72 Y_l = -5,14

$\Sigma V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9$	1.132.876,54 kN	$\Sigma M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_6 + M_{12}$
$\Sigma U =$	751.021,10 kN	$\Sigma M_E = 41.516.849,18 \text{ kNxm}$
$\Sigma V - \Sigma U =$	381.855,44 kN	$\Sigma M_T = M_5 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10} + M_{11} + M_{13} + M_{14} + M_{15} + M_{16} + M_{17}$
$\Sigma T_{\text{, MONTANTE}} = T_1 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7$	603.994,10 kN	$\Sigma M_T = 33.716.721,89 \text{ kNxm}$
$\Sigma T_{\text{, JUSANTE}} = T_2$	215.919,70 kN	

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\Sigma V}{\Sigma U}$	=	1,51 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\Sigma M_E}{\Sigma M_T}$	=	1,23 > 1,10	OK

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA					
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)	α (°)	sen α	cos α
1 - 2	6.032,90	43.708,65	0,0	0,0000	1,0000
2 - 3	25.992,01	72.298,41	0,0	0,0000	1,0000
3 - 4	63.333,53	86.597,44	43,6	0,6900	0,7238
4 - 5	30.277,52	26.522,08	0,0	0,0000	1,0000
5 - 6	256.129,32	159.029,65	9,2	0,1604	0,9870

	N (kN)	T (kN)
1 - 2	6.032,90	43.708,65
2 - 3	25.992,01	72.298,41
3 - 4	-13.912,90	106.379,90
4 - 5	30.277,52	26.522,08
5 - 6	278.324,99	115.878,63
Σ	326.714,53	364.787,68

DESLIZAMENTO - FSD \emptyset - SEM COESÃO (C=0)		$\phi = 40^\circ$
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i}$	= 0,75 < 1,10	VERIFICAR COESÃO

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO		OK
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	= 1,00 > 1,00	OK
A COESÃO NECESSÁRIA É C = 64 kN/m ²		$\phi = 40^\circ$
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²		FSD \emptyset = 1,10
		FSDc = 1,30
		A _i = 2.354,57 m ²

DESLIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL		OK
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i}$	= 2,67 > 1,00	OK
A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m ²		$\phi = 40^\circ$
		FSD \emptyset = 1,10
		FSDc = 1,30
		A _i = 2.354,57 m ²

4.8 CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA 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)	EXCENTRICIDADE (m)*		MOMENTO (kNm)
					e _x	e _y	
Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00		V ₁ = -816.189,12	34,45		M ₁ = 28.117.715,18
Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00		V ₂ = -111.911,52	46,16		M ₂ = 5.165.835,76
Peso de Água à Montante	10.208,93	10,00		V ₃ = -102.089,30	53,26		M ₃ = 5.437.276,12
Peso de Água à Jusante	10.412,61	10,00		V ₄ = -104.126,10	8,54		M ₄ = 889.236,89
Empuxo de Água à Montante	53.314,58	10,00		T ₁ = 533.145,80		14,91	M ₅ = -7.949.203,88
Empuxo de Água à Jusante	14.488,07	10,00		T ₂ = -144.880,70		3,88	M ₆ = 562.137,12
Sismo Horizontal - Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	0,05	T ₃ = 40.809,46		18,51	M ₇ = -755.383,03
Sismo Vertical - Peso de Concreto CCV	34.007,88	24,00	0,03	V ₅ = 24.485,67	34,45		M ₈ = -843.531,46
Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	10.208,93	10,00	0,03	V ₆ = 3.062,68	53,26		M ₉ = -163.118,28
Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	10.412,61	10,00	0,03	V ₇ = 3.123,78	8,54		M ₁₀ = -26.677,11
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Horizontal	1.297,81	10,00	1,00	T ₄ = 12.978,10		28,14	M ₁₁ = -365.203,73
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Vertical	210,81	10,00	1,00	V ₈ = -2.108,10	56,27		M ₁₂ = 118.622,79
Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante	459,24	10,00	1,00	T ₅ = 4.592,40		9,30	M ₁₃ = -42.709,32
Sismo Horizontal - Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	0,05	T ₆ = 5.595,58		37,93	M ₁₄ = -212.240,20
Sismo Vertical - Peso de Concreto Massa	4.662,98	24,00	0,03	V ₉ = 3.357,35	46,16		M ₁₅ = -154.975,07
Sismo Horizontal - Peso de Água Confinada	1.604,52	10,00	0,05	T ₇ = 802,26		37,11	M ₁₆ = -29.771,87
Subpressão	80.109,01	10,00		U = 801.090,10	31,99		M ₁₇ = -25.626.872,30

PONTO DE TOMBAMENTO $X_t = 58,72$ $Y_t = -5,14$

$\sum V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 + V_8 + V_9$	1.102.394,66 kN	$\sum M_E = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_6 + M_{12}$
$\sum U =$	801.090,10 kN	$\sum M_E = 40.290.823,86 \text{ kNm}$
$\sum V - \sum U =$	301.304,56 kN	$\sum M_T = M_5 + M_7 + M_8 + M_9 + M_{10} + M_{11} + M_{13} + M_{14} + M_{15} + M_{16} + M_{17}$
$\sum T_{1, \text{MONTANTE}} = T_1 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7$	597.923,59 kN	$\sum M_T = 36.169.686,25 \text{ kNm}$
$\sum T_{1, \text{JUSANTE}} = T_2$	144.880,70 kN	

FLUTUAÇÃO - FSF			
$\frac{\sum V}{\sum U}$	=	1,38 > 1,10	OK
TOMBAMENTO - FST			
$\frac{\sum M_E}{\sum M_T}$	=	1,11 > 1,10	OK

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA																	
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)	α (°)	sen α	cos α												
A - 5	2.797,18	39.452,63	0,0	0,0000	1,0000												
5 - 6	298.313,23	413.731,05	9,2	0,1604	0,9870												
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>N (kN)</th> <th>T (kN)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A - 5</td> <td>2.797,18</td> <td>39.452,63</td> </tr> <tr> <td>5 - 6</td> <td>360.824,53</td> <td>360.513,28</td> </tr> <tr> <td>Σ</td> <td>363.621,71</td> <td>399.965,91</td> </tr> </tbody> </table>							N (kN)	T (kN)	A - 5	2.797,18	39.452,63	5 - 6	360.824,53	360.513,28	Σ	363.621,71	399.965,91
	N (kN)	T (kN)															
A - 5	2.797,18	39.452,63															
5 - 6	360.824,53	360.513,28															
Σ	363.621,71	399.965,91															
DESILIZAMENTO - FSD \emptyset - SEM COESÃO (C=0) $\phi = 40^\circ$																	
$\frac{\sum N_i \times \text{tg} \phi}{\sum T_i} = 0,76 < 1,10 \quad \text{VERIFICAR COESÃO}$																	
DESILIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO																	
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i} = 1,00 > 1,00 \quad \text{OK}$ <p style="text-align: right;">$\phi = 40^\circ$</p> <p style="text-align: right;">FSD\emptyset = 1,10</p> <p style="text-align: right;">FSDc = 1,30</p> <p style="text-align: right;">$A_i = 1.150,07 \text{ m}^2$</p> <p style="text-align: center;">A COESÃO NECESSÁRIA É C = 139 kN/m²</p> <p style="text-align: center;">A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m²</p>																	
DESILIZAMENTO - FSDc - COM COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL																	
$\frac{N_i \times \text{tg} \phi}{\text{FSD}\emptyset \times \sum T_i} + \frac{\sum C \times A_i}{\text{FSDc} \times \sum T_i} = 1,58 > 1,00 \quad \text{OK}$ <p style="text-align: right;">$\phi = 40^\circ$</p> <p style="text-align: right;">FSD\emptyset = 1,10</p> <p style="text-align: right;">FSDc = 1,30</p> <p style="text-align: right;">$A_i = 1.150,07 \text{ m}^2$</p> <p style="text-align: center;">A COESÃO MÁXIMA ADMISSÍVEL É C = 400 kN/m²</p>																	

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 - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA																	
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)	$\bar{X} \times A$ (m³)	$\bar{Y} \times A$ (m³)	$\bar{X} - X_G$ (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	6,10	0,00	1-2	6,10	37,42	228,26	3,05	0,00	696,20	0,00	-25,91	5,09	671,33	25,91	697,24	159.152,53	707,80
3	16,19	0,00	2-3	10,09	37,42	377,57	11,15	0,00	4.207,99	0,00	-17,82	5,09	317,37	25,91	343,28	129.612,35	3.203,29
4	26,26	-9,60	3-4	13,91	37,42	520,62	21,23	-9,60	11.050,06	-2.498,95	-7,74	0,29	59,83	0,08	59,91	31.192,33	8.397,74
5	31,28	-9,60	4-5	5,02	37,42	187,85	28,77	-9,60	5.404,40	-1.803,34	-0,19	-4,51	0,04	20,34	20,38	3.827,64	394,49
6	58,72	-5,14	5-6	27,80	37,42	1.040,28	45,00	-7,37	46.812,58	-7.666,86	16,04	-2,28	257,28	5,20	262,48	273.052,56	66.997,92
Σ						2.354,57			68.171,23	-11.969,16						596.837,41	79.701,24

$X_G =$	28,96 m
$Y_G =$	-5,09 m
$I_p =$	676.538,65 m ⁴

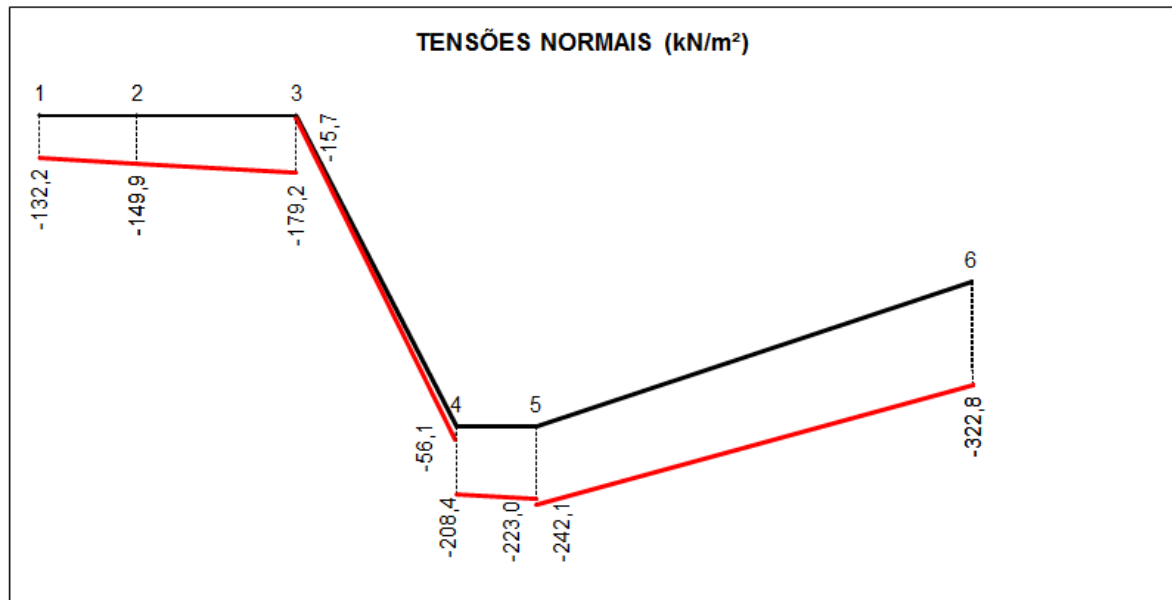
5.1 CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA						
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	-816.189,12		-4,69		3.827.926,97
2	Peso de Concreto Massa	-111.911,52		-16,40		1.835.348,93
3	Peso de Água à Montante	-102.089,30		-23,50		2.399.098,55
4	Peso de Água à Jusante	-104.126,10		21,22		-2.209.555,84
5	Empuxo de Água à Montante		492.146,90		-16,05	-7.898.957,75
6	Empuxo de Água à Jusante		-137.910,10		-4,18	576.464,22
7	Subpressão	625.121,00		-0,79		-493.845,59

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNxm)
PESO PRÓPRIO	-928.100,64	0,00	5.663.275,90
CCN	-509.195,04	354.236,80	-1.963.520,51

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCN (kN/m ²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 – 6,1	-132,21	-149,91
2 - 3	6,1 – 16,19	-149,91	-179,20
3 - 4	16,19 – 26,26	-15,70	-56,08
4 - 5	26,26 – 31,28	-208,42	-222,99
5 - 6	31,28 – 58,72	-242,14	-322,82

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCN (kN/m ²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 – 0	165,22	165,22
2 - 3	0 – 0	165,22	165,22
3 - 4	0 – -9,6	243,23	243,23
4 - 5	-9,6 – -9,6	137,36	137,36
5 - 6	-9,6 – -5,14	99,80	99,80



Base 100% comprimida

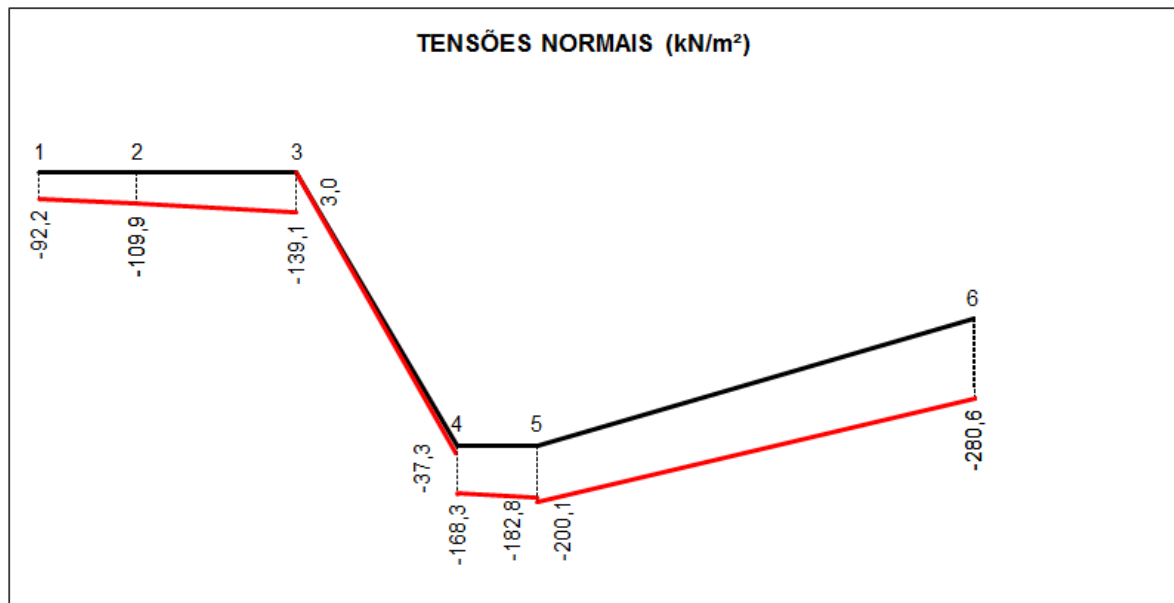
5.2 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA 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	-816.189,12		-4,68		3.819.765,08
2	Peso de Concreto Massa	-111.911,52		-16,39		1.834.229,81
3	Peso de Água à Montante	-105.697,60		-23,52		2.486.007,55
4	Peso de Água à Jusante	-131.761,80		21,87		-2.881.630,57
5	Empuxo de Água à Montante		534.846,10		-15,97	-8.541.492,22
6	Empuxo de Água à Jusante		-215.919,70		-6,58	1.420.751,63
7	Subpressão	751.021,10		-0,13		-97.632,74

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNxm)
PESO PRÓPRIO	-928.100,64	0,00	5.653.994,89
CCE 1	-414.538,94	318.926,40	-1.960.001,45

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCE 1 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 6,1	-92,19	-109,86
2 - 3	6,1 - 16,19	-109,86	-139,09
3 - 4	16,19 - 26,26	2,96	-37,34
4 - 5	26,26 - 31,28	-168,26	-182,81
5 - 6	31,28 - 58,72	-200,07	-280,61

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCE 1 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	150,20	150,20
2 - 3	0 - 0	150,20	150,20
3 - 4	0 - -9,6	204,69	204,69
4 - 5	-9,6 - -9,6	122,38	122,38
5 - 6	-9,6 - -5,14	91,47	91,47



Base 100% comprimida

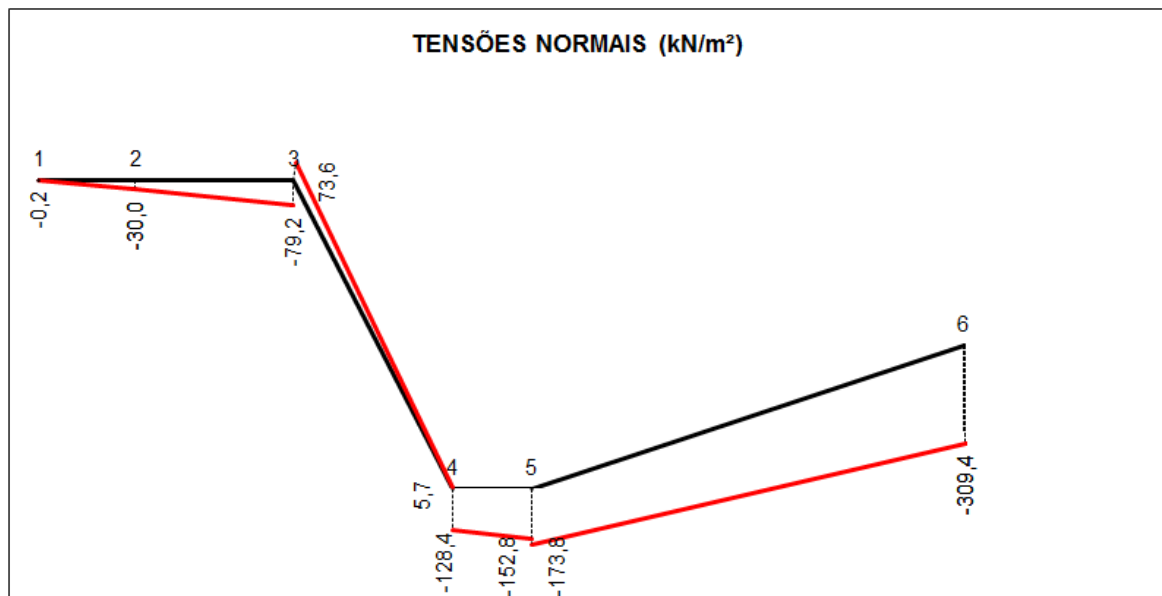
5.3 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 2 – CCE2

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA						
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	-816.189,12		-4,69		3.827.926,97
2	Peso de Concreto Massa	-111.911,52		-16,40		1.835.348,93
3	Peso de Água à Montante	-102.089,30		-23,50		2.399.098,55
4	Peso de Água à Jusante	-104.126,10		21,22		-2.209.555,84
5	Empuxo de Água à Montante		533.145,80		-14,86	-7.922.546,59
6	Empuxo de Água à Jusante		-144.880,70		-3,83	554.893,08
7	Subpressão	801.079,10		-2,23		-1.786.406,39

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNxm)
PESO PRÓPRIO	-928.100,64	0,00	5.663.275,90
CCE 2	-333.236,94	388.265,10	-3.301.241,29

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCE 2 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 6,1	-0,21	-29,98
2 - 3	6,1 - 16,19	-29,98	-79,21
3 - 4	16,19 - 26,26	73,58	5,70
4 - 5	26,26 - 31,28	-128,35	-152,85
5 - 6	31,28 - 58,72	-173,79	-309,45

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCE 2 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	189,74	189,74
2 - 3	0 - 0	189,74	189,74
3 - 4	0 - -9,6	191,99	191,99
4 - 5	-9,6 - -9,6	142,89	142,89
5 - 6	-9,6 - -5,14	116,52	116,52



Base 100% comprimida

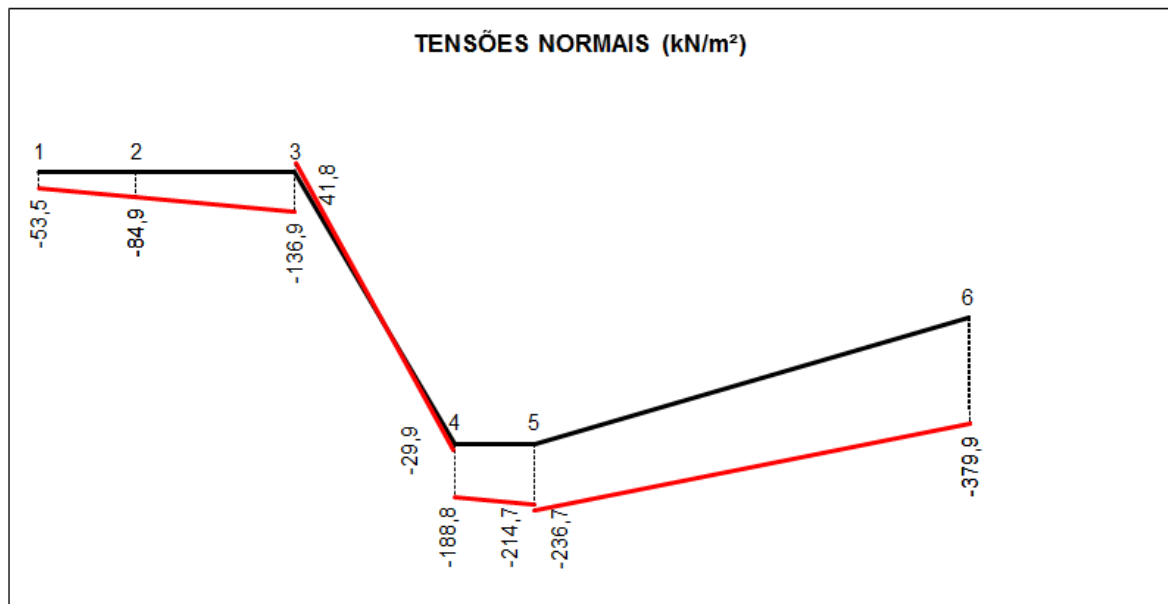
5.4 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 3 – CCE3

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA						
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	-816.189,12		-4,69		3.827.926,97
2	Peso de Concreto Massa	-111.911,52		-16,40		1.835.348,93
3	Peso de Água à Montante	-102.089,30		-23,50		2.399.098,55
4	Peso de Água à Jusante	-104.126,10		21,22		-2.209.555,84
5	Empuxo de Água à Montante		492.146,90		-16,05	-7.898.957,75
6	Empuxo de Água à Jusante		-137.910,10		-4,18	576.464,22
7	Sismo Horizontal - Peso de Concreto CCV		40.809,46		-18,46	-753.342,56
8	Sismo Vertical - Peso de Concreto CCV	24.485,67		-4,69		-114.837,81
9	Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	3.062,68		-23,50		-71.972,96
10	Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	3.123,78		21,22		66.286,68
11	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Horizontal		12.978,10		-28,09	-364.554,83
12	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Vertical	-2.108,10		-26,51		55.885,73
13	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante		4.592,40		-9,25	-42.479,70
14	Sismo Horizontal - Peso de Concreto Massa		5.595,58		-37,88	-211.960,42
15	Sismo Vertical - Peso de Concreto Massa	3.357,35		-16,40		-55.060,47
16	Sismo Horizontal - Peso de Água Confinada		802,26		-37,06	-29.731,76
17	Subpressão	625.104,80		-0,79		-493.832,79

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNm)
PESO PRÓPRIO	-928.100,64	0,00	5.663.275,90
CCE 3	-477.289,86	419.014,59	-3.485.275,80

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCE 3 (kN/m²)	
		j	k
1 - 2	0 - 6,1	-53,52	-84,94
2 - 3	6,1 - 16,19	-84,94	-136,92
3 - 4	16,19 - 26,26	41,78	-29,89
4 - 5	26,26 - 31,28	-188,80	-214,66
5 - 6	31,28 - 58,72	-236,70	-379,92

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCE 3 (kN/m²)	
		j	k
1 - 2	0 - 0	204,18	204,18
2 - 3	0 - 0	204,18	204,18
3 - 4	0 - -9,6	242,26	242,26
4 - 5	-9,6 - -9,6	154,72	154,72
5 - 6	-9,6 - -5,14	118,28	118,28



Base 100% comprimida

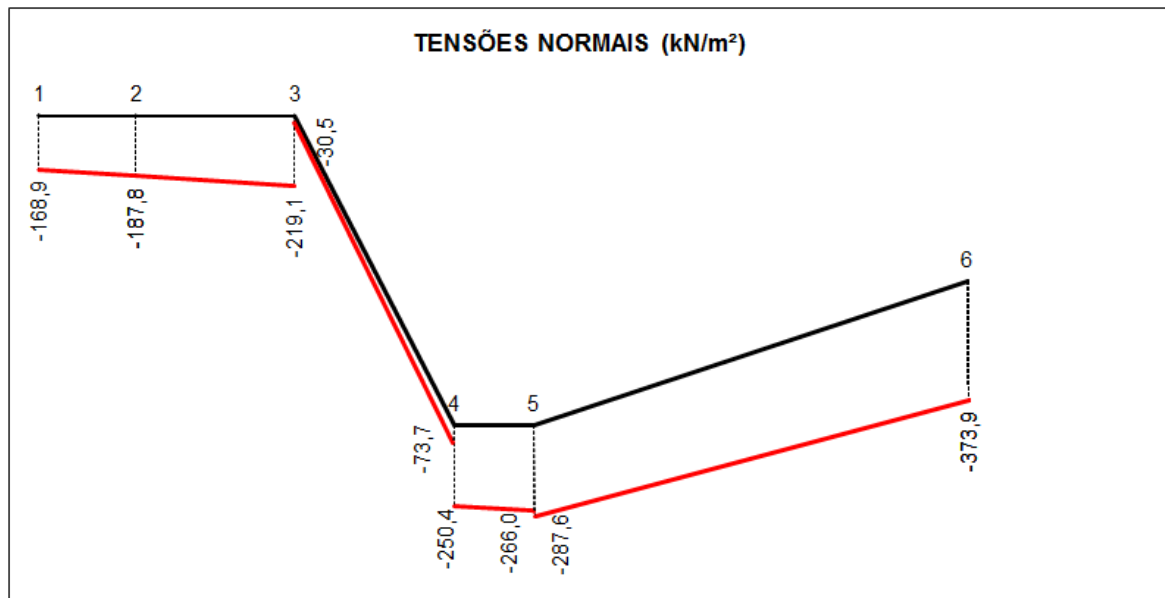
5.5 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 4 – CCE4

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA CCE4 - DRENOS 100% OPERANTES - N.A. MÁX. NORMAL A MONTANTE (EL. 89,60m) E A JUSANTE (EL. 53,00m)						
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	-816.189,12		-4,69		3.827.926,97
2	Peso de Concreto Massa	-111.911,52		-16,40		1.835.348,93
3	Peso de Água à Montante	-102.089,30		-23,50		2.399.098,55
4	Peso de Água à Jusante	-64.532,50		20,52		-1.324.206,90
5	Empuxo de Água à Montante		469.850,80		-16,81	-7.898.191,95
6	Empuxo de Água à Jusante		-70.043,60		-1,33	93.157,99
7	Subpressão	485.360,90		-2,13		-1.033.818,72

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNxm)
PESO PRÓPRIO	-928.100,64	0,00	5.663.275,90
CCE4	-609.361,54	399.807,20	-2.100.685,13

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCE4 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 6,1	-168,88	-187,82
2 - 3	6,1 - 16,19	-187,82	-219,15
3 - 4	16,19 - 26,26	-30,55	-73,75
4 - 5	26,26 - 31,28	-250,42	-266,00
5 - 6	31,28 - 58,72	-287,55	-373,87

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCE4 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	185,60	185,60
2 - 3	0 - 0	185,60	185,60
3 - 4	0 - -9,6	285,56	285,56
4 - 5	-9,6 - -9,6	155,80	155,80
5 - 6	-9,6 - -5,14	111,10	111,10



Base 100% comprimida

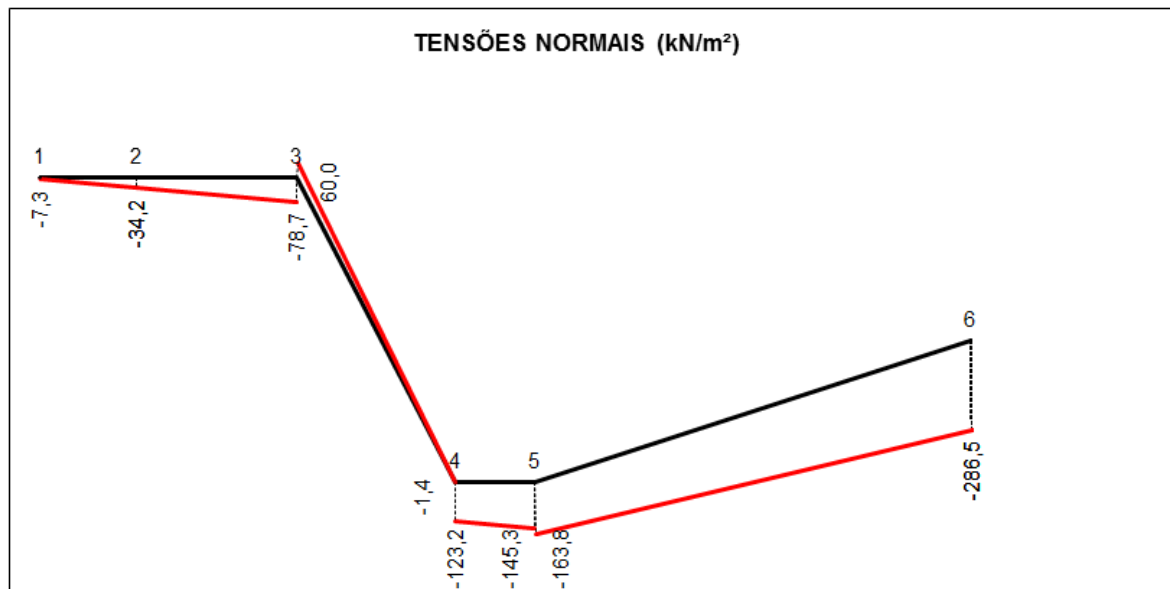
5.6 CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 1 – CCL1

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA 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	-816.189,12		-4,69		3.827.926,97
2	Peso de Concreto Massa	-111.911,52		-16,40		1.835.348,93
3	Peso de Água à Montante	-105.697,60		-23,53		2.487.064,53
4	Peso de Água à Jusante	-131.761,80		21,86		-2.880.312,95
5	Empuxo de Água à Montante		567.676,70		-15,07	-8.554.887,87
6	Empuxo de Água à Jusante		-221.501,60		-6,34	1.404.320,14
7	Peso de Água - 1 Unidade Geradora	-44.431,30		-0,83		36.877,98
8	Subpressão	891.938,50		-1,28		-1.141.681,28

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNxm)
PESO PRÓPRIO	-928.100,64	0,00	5.663.275,90
CCL 1	-318.052,84	346.175,10	-2.985.343,55

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCL 1 (kN/m ²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 6,1	-7,29	-34,21
2 - 3	6,1 - 16,19	-34,21	-78,73
3 - 4	16,19 - 26,26	59,96	-1,43
4 - 5	26,26 - 31,28	-123,16	-145,32
5 - 6	31,28 - 58,72	-163,83	-286,50

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCL 1 (kN/m ²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	169,48	169,48
2 - 3	0 - 0	169,48	169,48
3 - 4	0 - -9,6	177,00	177,00
4 - 5	-9,6 - -9,6	127,12	127,12
5 - 6	-9,6 - -5,14	102,16	102,16



Base 100% comprimida

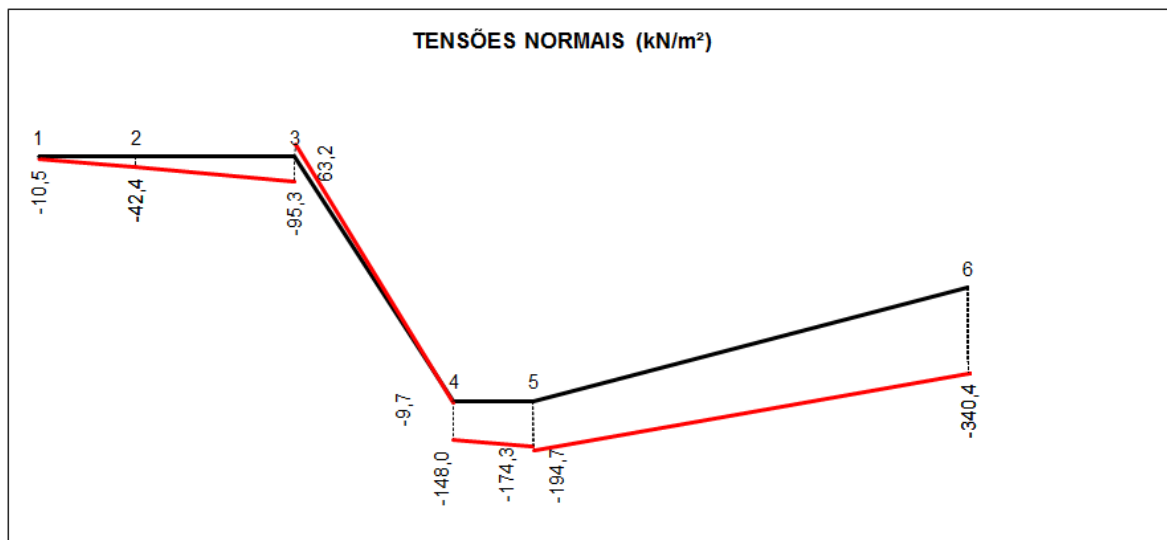
5.7 CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 2 – CCL2

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA						
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	-816.189,12		-4,69		3.827.926,97
2	Peso de Concreto Massa	-111.911,52		-16,40		1.835.348,93
3	Peso de Água à Montante	-105.697,60		-23,53		2.487.064,53
4	Peso de Água à Jusante	-131.761,80		21,86		-2.880.312,95
5	Empuxo de Água à Montante		534.846,10		-15,97	-8.541.492,22
6	Empuxo de Água à Jusante		-215.919,70		-6,58	1.420.751,63
7	Sismo Horizontal - Peso de Concreto CCV		40.809,46		-18,46	-753.342,56
8	Sismo Vertical - Peso de Concreto CCV	24.485,67		-4,69		-114.837,81
9	Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	3.170,93		-23,53		-74.611,94
10	Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	3.952,85		21,86		86.409,39
11	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Horizontal		13.887,70		-28,61	-397.327,10
12	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Vertical	-2.283,30		-26,39		60.256,29
13	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante		8.017,70		-12,05	-96.613,29
14	Sismo Horizontal - Peso de Concreto Massa		5.595,58		-37,88	-211.960,42
15	Sismo Vertical - Peso de Concreto Massa	3.357,35		-16,40		-55.060,47
16	Sismo Horizontal - Peso de Água Confinada		837,57		-37,66	-31.542,89
17	Subpressão	751.021,10		-0,14		-105.142,95

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNm)
PESO PRÓPRIO	-928.100,64	0,00	5.663.275,90
CCL 2	-381.855,44	388.074,40	-3.544.486,85

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCL 2 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 6,1	-10,45	-42,41
2 - 3	6,1 - 16,19	-42,41	-95,27
3 - 4	16,19 - 26,26	63,17	-9,72
4 - 5	26,26 - 31,28	-148,03	-174,33
5 - 6	31,28 - 58,72	-194,72	-340,37

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCL 2 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	191,48	191,48
2 - 3	0 - 0	191,48	191,48
3 - 4	0 - -9,6	204,33	204,33
4 - 5	-9,6 - -9,6	141,19	141,19
5 - 6	-9,6 - -5,14	111,39	111,39



Base 100% comprimida

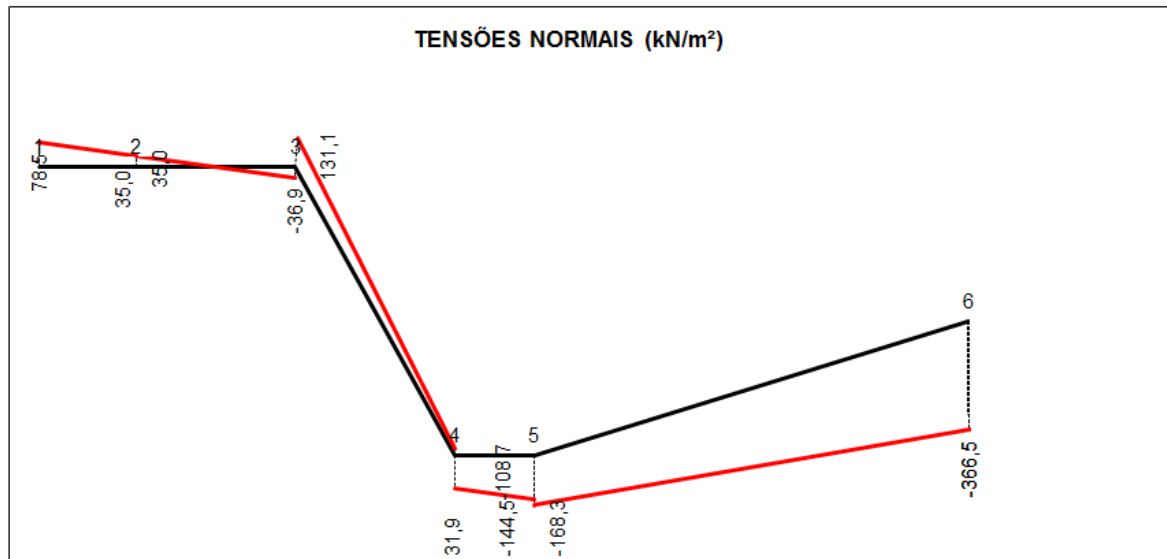
5.8 CASO DE CARREGAMENTO LIMITE 3 – CCL3

UHE ITAOCARA I - CASA DE FORÇA E TOMADA DE ÁGUA						
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	-816.189,12		-4,69		3.827.926,97
2	Peso de Concreto Massa	-111.911,52		-16,40		1.835.348,93
3	Peso de Água à Montante	-102.089,30		-23,50		2.399.098,55
4	Peso de Água à Jusante	-104.126,10		21,22		-2.209.555,84
5	Empuxo de Água à Montante		533.145,80		-14,86	-7.922.546,59
6	Empuxo de Água à Jusante		-144.880,70		-3,83	554.893,08
7	Sismo Horizontal - Peso de Concreto CCV		40.809,46		-18,46	-753.342,56
8	Sismo Vertical - Peso de Concreto CCV	24.485,67		-4,69		-114.837,81
9	Sismo Vertical - Peso de Água à Montante	3.062,68		-23,50		-71.972,96
10	Sismo Vertical - Peso de Água à Jusante	3.123,78		21,22		66.286,68
11	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Horizontal		12.978,10		-28,09	-364.554,83
12	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Montante - Comp. Vertical	-2.108,10		-26,51		55.885,73
13	Sismo Horizontal - Empuxo de Água à Jusante		4.592,40		-9,25	-42.479,70
14	Sismo Horizontal - Peso de Concreto Massa		5.595,58		-37,88	-211.960,42
15	Sismo Vertical - Peso de Concreto Massa	3.357,35		-16,40		-55.060,47
16	Sismo Horizontal - Peso de Água Confinada		802,26		-37,06	-29.731,76
17	Subpressão	801.090,10		-2,23		-1.786.430,92

CASO DE CARREGAMENTO	V (kN)	H (kN)	M (kNm)
PESO PRÓPRIO	-928.100,64	0,00	5.663.275,90
CCL 3	-301.304,56	453.042,89	-4.823.033,91

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCL 3 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 6,1	78,49	35,00
2 - 3	6,1 - 16,19	35,00	-36,93
3 - 4	16,19 - 26,26	131,07	31,89
4 - 5	26,26 - 31,28	-108,72	-144,50
5 - 6	31,28 - 58,72	-168,34	-366,53

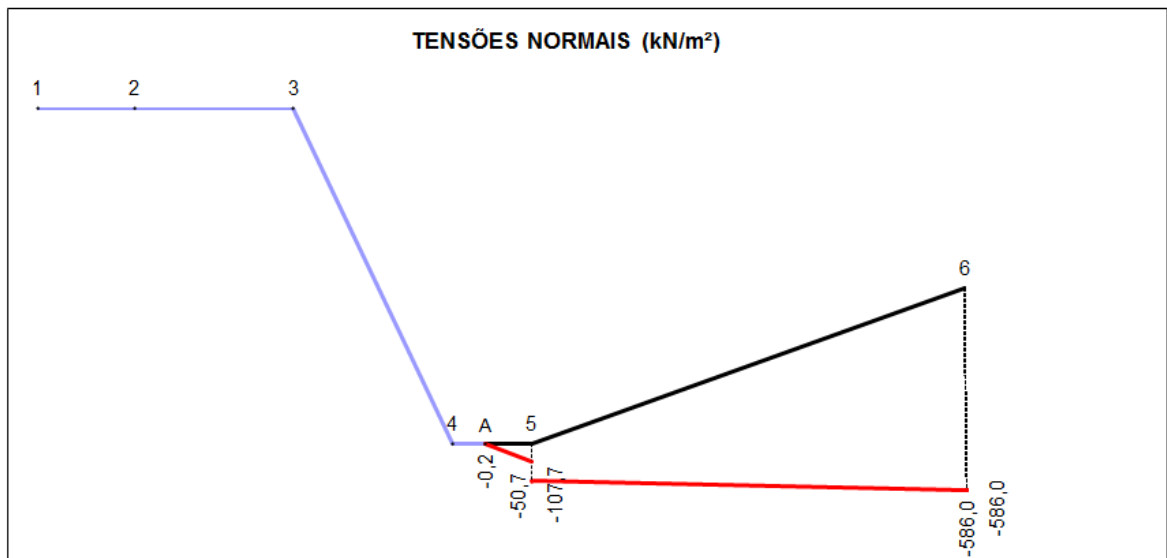
TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCL 3 (kN/m²)	
j - k		j	k
1 - 2	0 - 0	228,70	228,70
2 - 3	0 - 0	228,70	228,70
3 - 4	0 - -9,6	191,01	191,01
4 - 5	-9,6 - -9,6	160,26	160,26
5 - 6	-9,6 - -5,14	135,00	135,00



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.

TENSÕES NORMAIS			
TRECHO	X (m)	CCL 3 (kN/m²)	
j - k		j	k
A - 5	28,35 - 31,28	-0,24	-50,72
5 - 6	31,28 - 58,72	-107,71	-586,00

TENSÕES TANGENCIAIS			
TRECHO	Y (m)	CCL 3 (kN/m²)	
j - k		j	k
A - 5	-9,6 - -9,6	359,35	359,35
5 - 6	-9,6 - -5,14	346,55	346,55



Base 48,9% comprimida

6. COEFICIENTES DE SEGURANÇA ENCONTRADOS

6.1 CASO DE CARREGAMENTO NORMAL – CCN

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	1,81	1,30
Tombamento – CST	1,49 (*)	1,50
Deslizamento sem Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$)	1,05	1,50
Deslizamento com Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$) e $CSD_C = 400$ kPa	1,58	1,00
Área da Base Comprimida	100%	100%

(*) Base 100% comprimida. Ver item 1.4.

6.2 CASO DE CARREGAMENTO EXCEPCIONAL 1 – CCE1

VERIFICAÇÕES	VALORES ENCONTRADOS	VALORES A SEREM ATENDIDOS
Flutuação – CSF	1,55	1,10
Tombamento – CST	1,33	1,20
Deslizamento sem Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$)	0,96	1,10
Deslizamento com Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$) e $CSD_C = 400$ kPa	2,86	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	1,42	1,10
Tombamento – CST	1,20	1,20
Deslizamento sem Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$)	0,65	1,10
Deslizamento com Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$) e $CSD_C = 400$ kPa	2,32	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	1,76	1,10
Tombamento – CST	1,36	1,20
Deslizamento sem Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$)	0,86	1,10
Deslizamento com Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$) e $CSD_C = 400$ kPa	2,35	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	2,26	1,10
Tombamento – CST	1,68	1,20
Deslizamento sem Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$)	1,11	1,10
Deslizamento com Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$) e $CSD_C = 400$ kPa	2,56	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	1,36	1,10
Tombamento – CST	1,18	1,10
Deslizamento sem Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$)	0,70	1,10
Deslizamento com Coesão – CSD_{ϕ} ($\Phi=40^{\circ}$) e $CSD_C = 400$ kPa	2,86	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	1,51	1,10
Tombamento – CST	1,23	1,10
Deslizamento sem Coesão – CSD_{ϕ} ($\phi=40^{\circ}$)	0,75	1,10
Deslizamento com Coesão – CSD_{ϕ} ($\phi=40^{\circ}$) e $CSD_C = 400$ kPa	2,67	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	1,38	1,10
Tombamento – CST	1,11	1,10
Deslizamento sem Coesão – CSD_{ϕ} ($\phi=40^{\circ}$)	0,76	1,10
Deslizamento com Coesão – CSD_{ϕ} ($\phi=40^{\circ}$) e $CSD_C = 400$ kPa	1,58	1,00
Área da Base Comprimida	48,9%	Resultante dentro da base



UHE ITAOCARA I

7. CONCLUSÃO

A estrutura da Casa de Força e Tomada de Água analisada é estável em todas as verificações, atendendo aos coeficientes de segurança definidos nos Critérios de Projeto da UHE Itaipava 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

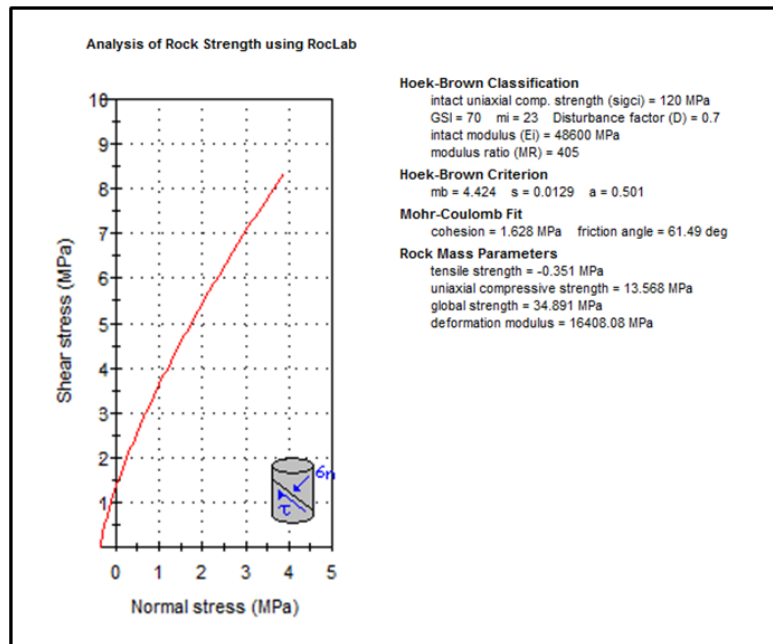


FIGURA 1 – Análise de Resistência do Maciço de Fundação esperado para as estruturas de concreto da UHE Itaocara I, utilizando o *software RocLab*.

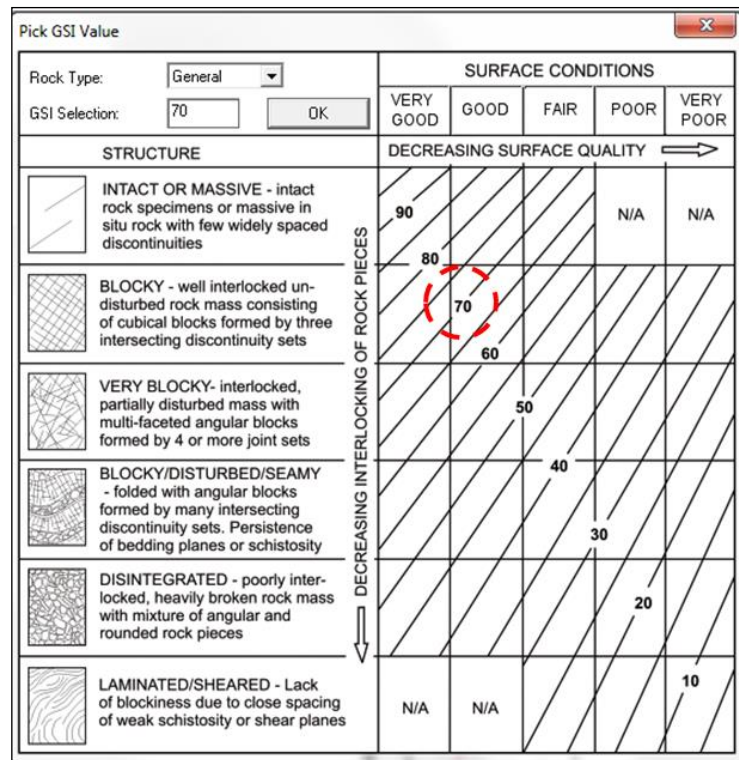


FIGURA 2 – Classificação geomecânica do maciço rochoso no nível de fundação previsto para as estruturas de concreto da Casa de Força e Descarregador de Fundo (Fonte: RocLab, 2007 – Versão 1.031).

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.

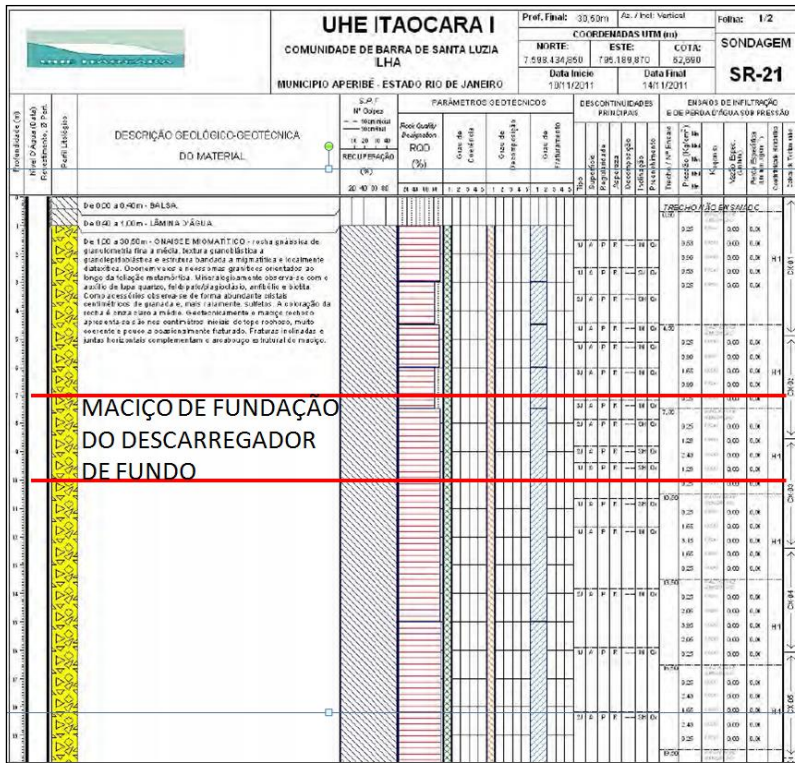


FIGURA 3 – Log de sondagem do furo SR-21 executado durante a fase de Projeto Básico, comprovando a boa qualidade geomecânica do maciço rochoso no nível de fundação do Descarregador de Fundo.

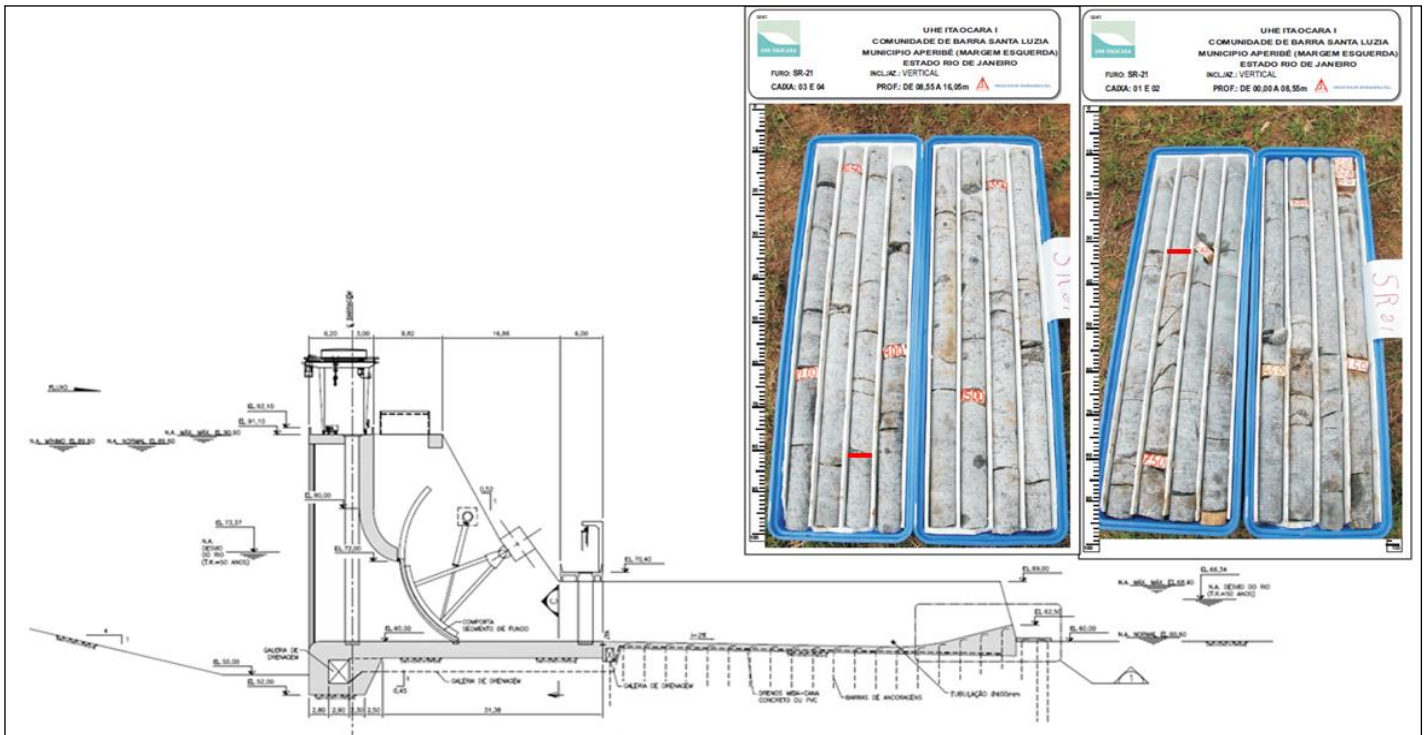


FIGURA 4 – Seção longitudinal típica do Descarregador de Fundo, considerada na Memória de cálculo da estabilidade da estrutura. Os traços vermelhos nas fotos indicam o trecho de maciço rochoso de fundação previsto para assentamento da estrutura.

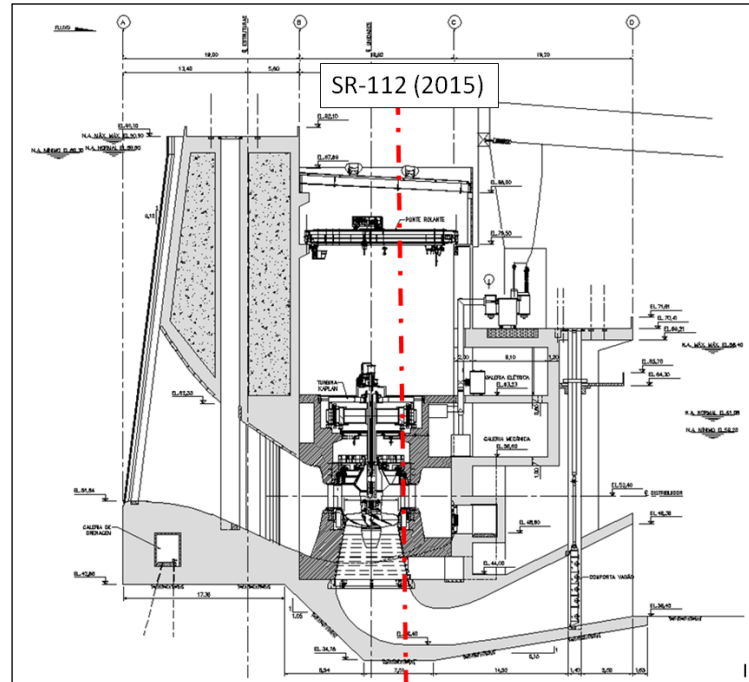


FIGURA 5 – Seção longitudinal típica da Tomada de Água/Casa de Força considerada na Memória de cálculo de estabilidade da estrutura.



FOTO 2 – 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.