



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**

*Procuradoria Geral do Estado*

**BANCO INTERNACIONAL PARA RECONSTRUÇÃO  
E DESENVOLVIMENTO - BIRD (BANCO MUNDIAL)**

**Ministério da Integração Nacional - MI  
Programa Nacional de Desenvolvimento  
dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL -  
Acordo de Empréstimo N.º.: 7420-BR - BID**

**Governo do Estado do Ceará  
Projeto de Gestão Integrada dos  
Recursos Hídricos PROGERIRH II  
Acordo de Empréstimo N.º.: 7630-BR**

**ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO  
DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS  
BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA  
PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH.**

**ETAPA B3 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM LONTRAS  
VOLUME 2 - PROJETO EXECUTIVO**

**Tomo 6 - Relatório Síntese**



**Integração**  
Ministério da Integração Nacional



**SECRETARIA DOS  
RECURSOS HÍDRICOS**  
Governo do Estado do Ceará



**PROÁGUA  
NACIONAL**



**BANCO  
MUNDIAL**



**EngeSoft**  
Engenharia e Consultoria Ltda.



**Yibi**  
ENGENHARIA  
CONSULTIVA S/S.

**consórcio**

Revisão : Abril/2013

**Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo do Eixo de Integração da Ibiapaba/Ce (Para Construção das Barragens Lontras e Inhuçu, do Canal/Túnel e da Penstock/Pequena Central Hidrelétrica - PCH)**

**Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Lontras**

**Tomo 6: Relatório Síntese**

*Revisão : Abril/2013*

## ÍNDICE

---

## ÍNDICE

### Páginas

ÍNDICE.....	2
1. INTRODUÇÃO .....	6
2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS .....	10
3. FICHA TÉCNICA .....	14
4. DESENHOS DO PROJETO.....	21
5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM .....	28
5.1. GENERALIDADES .....	29
5.2. ESCOLHA DO EIXO BARRADO .....	30
5.3. ESCOLHA DO TIPO DE BARRAGEM .....	32
5.4. FUNDAÇÃO.....	35
5.4.1. Considerações gerais.....	35
5.4.2 Tratamento da fundação .....	39
5.5. MACIÇO DA BARRAGEM.....	45
5.6. INSTRUMENTAÇÃO .....	51
5.7. SANGRADOURO .....	53
5.7.1 Canal de Aproximação.....	53
5.7.2 Muro de vertimento do Sangradouro .....	54
5.7.3 Canal de restituição .....	54
5.7.4 Juntas de dilatação .....	56
5.7.5 Sistema de drenagem.....	56
5.7.6 Escavação do Sangradouro .....	57
5.7.7 Aterros no Sangradouro.....	57
5.8. TOMADA D'ÁGUA .....	58
5.9. DESCARGA DE FUNDO .....	59
5.10. ETAPAS CONSTRUTIVAS.....	61
5.10.1. Generalidades .....	61
5.10.2. Período de Execução.....	61
5.10.3. Descrição da Metodologia de Execução.....	61
6. CRONOGRAMA FÍSICO .....	65
7. RESUMO DOS INVESTIMENTOS .....	68

## ÍNDICE FIGURA

### Páginas

FIGURA 2.1- MAPA DE LOCALIZAÇÃO (CONTEXTO ESTADUAL) .....	12
FIGURA 2.2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO (CONTEXTO MUNICIPAL) .....	13
FIGURA 5.3 - BARRAGEM LONTRAS - SEÇÃO TIPO .....	34
FIGURA 5.4 - NÍVEL DE ÁGUA NO INTERIOR DOS FUROS DE SONDAGEM .....	41
FIGURA 6.1 - CRONOGRAMA FÍSICO.....	67

## ÍNDICE QUADRO

	<b>Páginas</b>
QUADRO 5.1- FAIXA GRANULOMÉTRICA DO SOLO DO NÚCLEO .....	48
QUADRO 5.2 - FAIXA GRANULOMÉTRICA DO ENROCAMENTO.....	49
QUADRO 5.3 - FAIXA GRANULOMÉTRICA DO FILTRO VERTICAL .....	49
QUADRO 5.4 - FAIXA GRANULOMÉTRICA DE TRANSIÇÃO FINA.....	50
QUADRO 5.5 - FAIXA GRANULOMÉTRICA DE TRANSIÇÃO GROSSA .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

---

## 1. INTRODUÇÃO

O objetivo geral da Política Estadual dos Recursos Hídricos do Ceará é promover o uso racional dos recursos hídricos e gerenciar os mesmos de uma maneira integrada e descentralizada. Neste contexto se insere o Eixo de Integração da Ibiapaba, o qual se constitui em um dos projetos empreendidos pelo Governo do Estado do Ceará para alcançar as metas de aproveitamento integrado dos recursos hídricos.

O Eixo de Integração da Ibiapaba, então concebido pelo PROGERIRH – Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos, está localizado na região noroeste semi-árida do Estado do Ceará. Neste sistema, estão compreendidas as Bacias dos Rios Acaraú, Coreaú e Poti, sendo que esta última se estende também ao Estado do Piauí, onde constitui uma parte da Bacia do Parnaíba. Diferencia-se por ser o primeiro sistema complexo deste tipo a ser estudado, sendo que nele se prevê a transferência de águas da Bacia do Rio Poti (Parnaíba) para as Bacias dos Rios Acaraú e Coreaú.

O documento aqui apresentado integra os serviços de consultoria para **ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE (PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU DO CANAL/TÚNEL E PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH)**, objeto do contrato 02/PROGERIRH 2011 firmado entre o Consórcio ENGESOFT/IBI e a SRH/CE.

Referidos estudos visam promover o controle dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Inhuçu.

Conforme estabelecem os Termos de Referência contratuais, a finalidade principal com o desenvolvimento dos estudos contratados é aprofundar mais detalhadamente o atendimento às demandas de água das regiões de influências; proporcionar um aproveitamento racional das águas acumuladas nos reservatórios, para o abastecimento urbano e rural e para uso com o desenvolvimento da irrigação em áreas aptas a este tipo de atividade, e para a geração de energia elétrica, caso mostre-se viável.

O estudo é composto pelas seguintes Fases e Etapas:

### – **FASE A: ESTUDO DE VIABILIDADE**

- Etapa A1 - Relatório de Identificação de Obras - RIO
- Etapa A2 - Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA do Sistema (Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH)
- Etapa A3 - Estudos Básicos e Concepções Gerais dos Projetos das Barragens, Canal/Túnel e Penstock/PCH

- Etapa A4 - Relatório Final de Viabilidade - RFV.

— **FASE B: PROJETO EXECUTIVO**

- Etapa B1 - Estudos de Impactos no Meio Ambiente EIA / RIMA
- Etapa B2 - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento das Barragens Lontras e Inhuçu.
- Etapa B3 - Projeto Executivo das Barragens Lontras e Inhuçu e Perímetro de Irrigação.
- Etapa B4 - Manuais de Operação e Manutenção do Sistema
- Etapa B5 - Avaliação Financeira e Econômica Final do Sistema – Barragens e Perímetro de Irrigação.

O presente documento faz parte da **Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Lontras**.

O Projeto da **Barragem Lontras** é constituído de dois volumes, como discriminado a seguir:

- **Volume 1 – Estudos Básicos**

Tomo 1: Relatório Geral;

Tomo 2: Estudos Cartográficos;

Tomo 2A: Estudos Cartográficos - Desenhos;

Tomo 3: Estudos Hidrológicos;

Tomo 4: Estudos Geológicos e Geotécnicos;

Tomo 4A: Estudos Geológicos e Geotécnicos - Anexos;

Tomo 5: Estudos Pedológicos;

- **Volume 2 – Projeto Executivo**

Tomo 1: Relatório de Concepção Geral;

Tomo 2: Desenhos;

Tomo 3: Memória de Cálculo;

Tomo 3A: Memória de Cálculo estrutural;

Tomo 4: Especificações técnicas e normas de medição e pagamento;

Tomo 5: Quantitativos e Orçamento;

Tomo 5A: Cálculo de Quantitativos;

**Tomo 6: Relatório Síntese;**

O presente documento é nomeado como **Tomo 6 –Relatório Síntese do Volume 2- Projeto Executivo** e aborda os seguintes capítulos:

- Localização e Acessos
- Ficha Técnica
- Relação de Desenhos
- Projeto Executivo da Barragem
  - Generalidades;
  - Escolha do Tipo da Barragem;
  - Escolha do tipo de Seção;
  - Fundação;
  - Maciço da Barragem;
  - Instrumentação;
  - Sangradouro;
  - Tomada D'água;
  - Descarga de Fundo;
  - Etapas Construtivas.
  - Cronograma Físico
  - Resumo dos Investimentos

## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

---

## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A Barragem Lontras é parte integrante do Eixo de Integração da Ibiapaba, localizando-se na bacia do rio Inhuçu. As obras integrantes da referida barragem de integração encontram-se integralmente inseridas no território da sub-bacia do Poti, afluente de primeira ordem do rio Parnaíba, mais especificamente na sua região de alto curso, no Estado do Ceará.

A Barragem Lontras será formada pelo barramento do rio Inhuçu, afluente do Poti, tendo sua bacia hidráulica abrangendo terras dos municípios de Ipueiras e Croatá. A barragem fechará o boqueirão existente imediatamente a montante da localidade de São José das Lontras, no município de Ipueiras, distando 15 km da sede do município de Croatá.

O acesso se dá a partir de Fortaleza tomando-se a BR-020 até a cidade de Canindé (113,0 km). Toma-se, então, a rodovia CE-257 por cerca de 181,0 km até a bifurcação com a CE-187. Percorre-se 17 km até a cidade de Ipueiras e 26,0km até uma estrada carroçável para acesso ao eixo da barragem, após um percurso de 18,0 km.

O acesso aéreo a área do empreendimento pode ser feito através dos aeródromos de Ipueiras, Ipu, Tianguá e Hidrolândia. O mapa de localização e acessos da área de abrangência do estudo encontra-se apresentado nas **Figuras 2.1 e 2.2**.

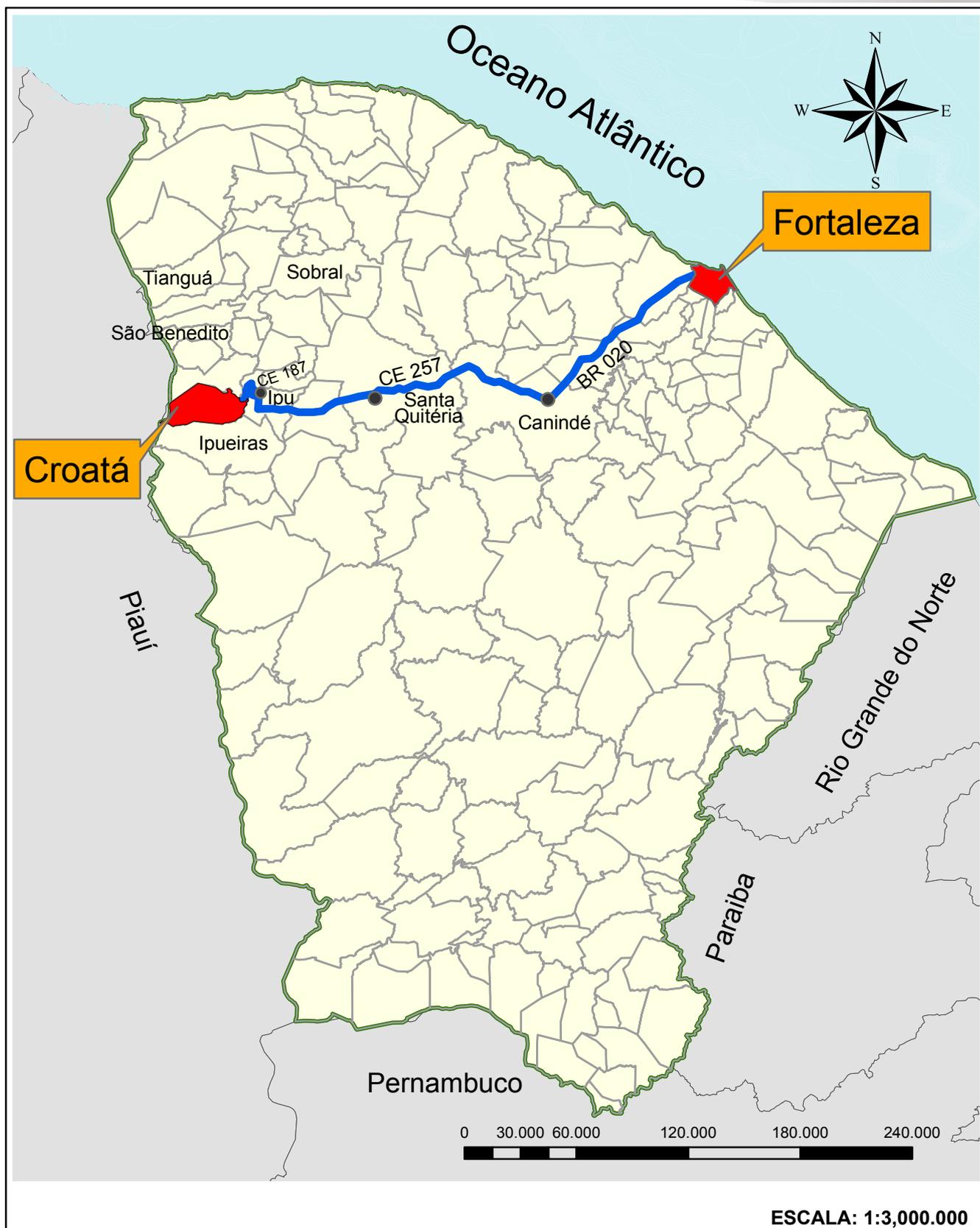


Figura 2.1 - Mapa de localização (contexto estadual)

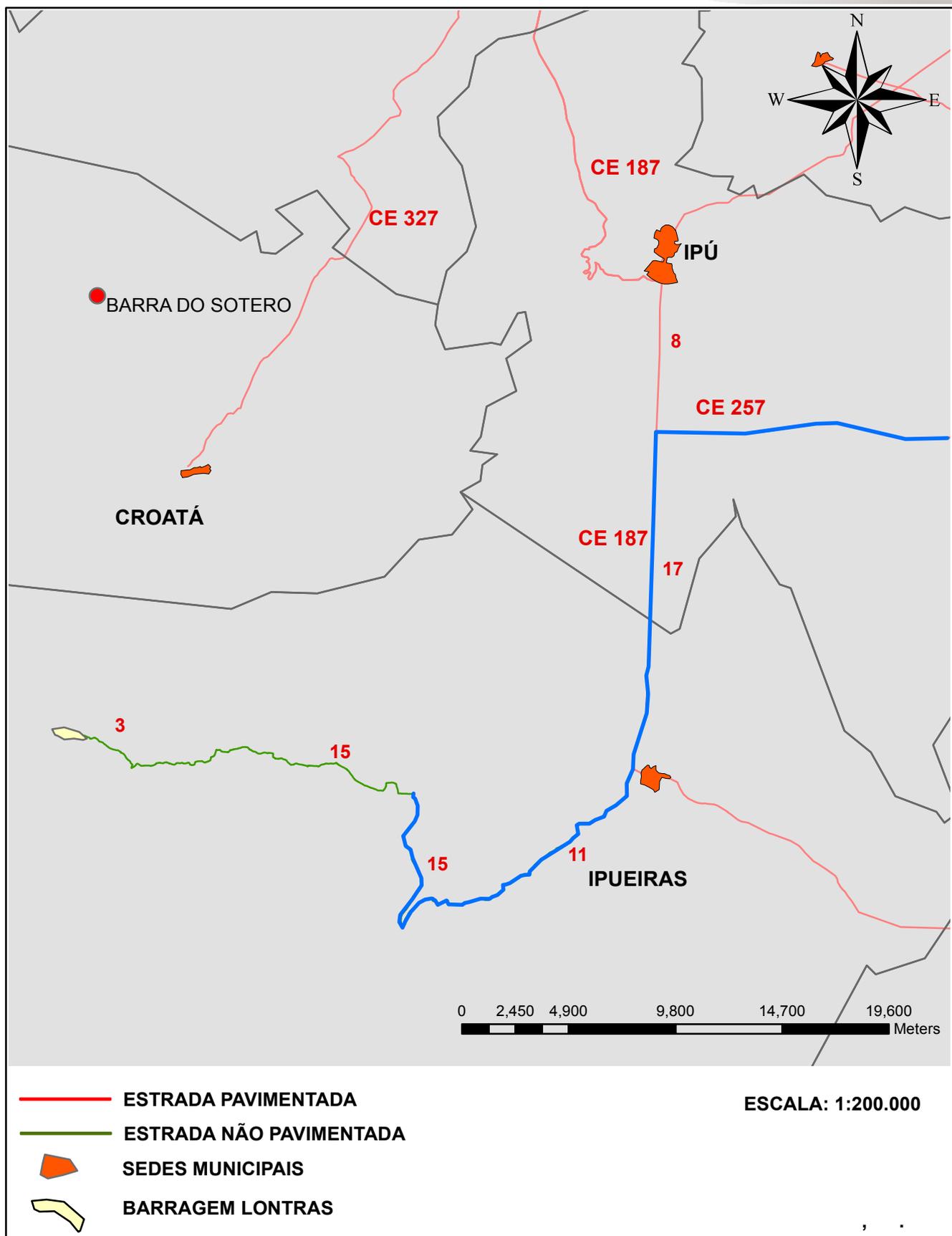


Figura 2.2 - Mapa de localização (contexto municipal)

### 3. FICHA TÉCNICA

---

### 3. FICHA TÉCNICA

A ficha técnica da Barragem Lontras é apresentada a seguir, mostrando as principais características da obra:

A curva Cota x Área x Volume e a Tabulação dos seus dados são apresentados a seguir:

<b>FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM LONTRAS</b>	
<b>IDENTIFICAÇÃO</b>	
Denominação:	Barragem Lontras
Estado:	Ceará
Município:	Croatá
Coordenadas UTM:	E 283.197/ N 9.499.358
Sistema:	Rio Poti
Rio Barrado:	Inhuçu
Proprietário:	Estado do Ceará/SRH
Autor do Projeto:	Consórcio Engesoft/IBI
Data do Projeto:	Dezembro/2011
<b>BACIA HIDROGRÁFICA</b>	
Área:	1.414 km <sup>2</sup>
Precipitação Média Anual:	729 mm
Evaporação Média Anual:	1775 mm
<b>CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO</b>	
Área da Bacia Hidráulica (cota 535,00 m):	2.088,94 ha
Volume Acumulado (Cota 535,00 m):	347,13 hm <sup>3</sup>
Volume Afluente Médio Anual:	173,5 hm <sup>3</sup>
Volume Morto do Reservatório (Cota 508,00 m):	40,61 hm <sup>3</sup>
Volume de Alerta (Cota 510,00 m):	50,74 hm <sup>3</sup>
Vazão Regularizada (90%):	3,2 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Afluente de Projeto ( TR-=1.000 anos)	2.097,8 m <sup>3</sup> /s
Vazão Max. De Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):	827,1 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Afluente de Verificação ( TR-=10.000 anos)	2.864,9 m <sup>3</sup> /s
Vazão Max.Verificação Amortecida (TR=10.000anos):	1.208,3 m <sup>3</sup> /s
Nível D'Água Max. Normal:	535,00 m

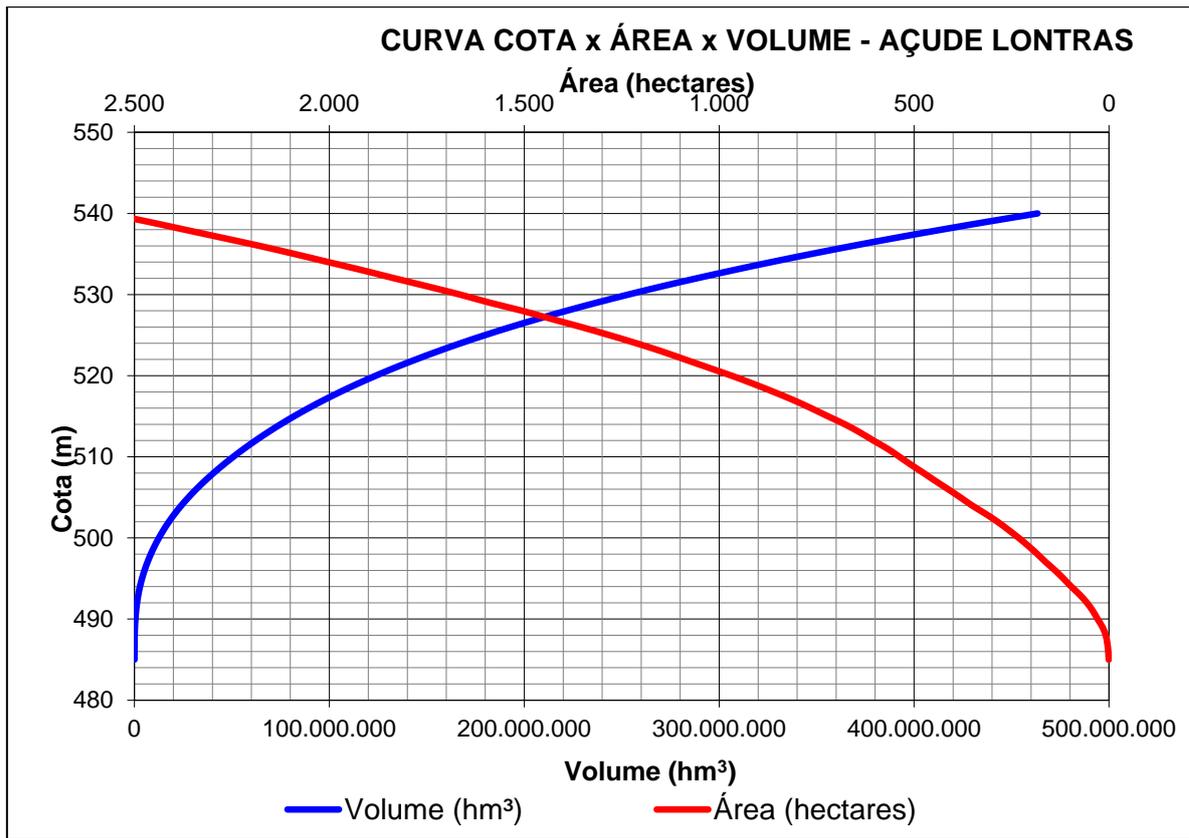
<b>FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM LONTRAS</b>	
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=1.000 anos):	537,80 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=10.000 anos):	538,60 m
<b>BARRAGEM PRINCIPAL</b>	
Tipo:	Mista de Terra e Enrocamento com núcleo argiloso
Altura Máxima:	57 m
Largura do Coroamento:	9,0 m
Extensão pelo Coroamento:	1.150 m
Cota do Coroamento:	540,00 m
Volume de Escavação (Fundação):	997.739,30 m <sup>3</sup>
Volume do Maciço e Cut-Off::	3.646.959,38 m <sup>3</sup>
Volume do Enrocamento:	1.631.168,07 m <sup>3</sup>
Volume de Transições Finas:	104.518,20 m <sup>3</sup>
Volume de Areia :	202.087,81 m <sup>3</sup>
Volume de Transições Grossas:	170.642,06 m <sup>3</sup>
Talude de Montante:	1,0 (V) : 2,5 a 3,5 (H)
Talude de Jusante:	1,0 (V) : 2,0 (H)
<b>SANGRADOURO</b>	
Tipo:	Canal revestido de concreto, com perfil Creager, rápidos e duas bacias de dissipação
Largura:	80,00 m
Cota de Sangria:	535,00m
Extensão Total do Canal de Restituição:	750 m
Vazão Máxima Prevista ( TR=1.000 anos )	827,1 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Prevista (TR=10.000 anos):	1.208,3 m <sup>3</sup> /s
Lâmina Máxima Prevista (TR=1.000 anos):	2,80 m
Lâmina Máxima Prevista (TR=10.000 anos):	3,60 m
Borda Livre:	2,10 m
Volume Total de Escavação	830.286 m <sup>3</sup>
<b>TOMADA D'ÁGUA</b>	
Tipo:	Tubo de Aço Envolto em Concreto
Localização:	Ombr. Esquerda / Est. 53+00

### FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM LONTRAS

Número de Condutos:	1 (um)
Diâmetro:	800 mm
Comprimento do Conduto:	162,0 m
Cota do eixo à Montante:	508,00 m
Cota do eixo à Jusante:	508,00 m
<b>DESCARGA DE FUNDO</b>	
Tipo:	Tubo de Aço em Galeria
Localização:	Oubr. Esquerda / Est. 34+00
Número de Condutos:	2 (dois)
Diâmetro:	1.800 mm
Comprimento do Conduto:	300 m
Cota do eixo à Montante:	485,40 m
Cota do eixo à Jusante:	485,40 m

<b>Cota- área- Volume- Barragem Lontras</b>			
<b>Cota (m)</b>	<b>Área (km2)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Volume (m3)</b>
485	0,01	7.507,07	3.754
486	0,02	19.033,30	17.024
487	0,04	43.459,00	48.270
488	0,08	84.079,26	112.039
489	0,17	166.756,60	237.457
490	0,29	293.589,53	467.630
491	0,42	415.094,57	821.972
492	0,57	565.886,21	1.312.462
493	0,75	751.012,22	1.970.912
494	0,97	969.016,50	2.830.926
495	1,17	1.170.164,80	3.900.517
496	1,38	1.384.073,99	5.177.636
497	1,62	1.618.200,40	6.678.773
498	1,84	1.836.561,29	8.406.154
499	2,07	2.067.000,09	10.357.935
500	2,32	2.315.854,72	12.549.362
501	2,58	2.582.002,84	14.998.291
502	2,86	2.862.247,10	17.720.416
503	3,18	3.176.634,10	20.739.857
504	3,51	3.514.064,26	24.085.206
505	3,81	3.814.477,91	27.749.477
506	4,13	4.125.594,80	31.719.513
507	4,45	4.447.087,28	36.005.854
508	4,76	4.755.223,11	40.607.009
509	5,07	5.073.348,61	45.521.295
510	5,38	5.375.331,27	50.745.635
511	5,68	5.684.768,82	56.275.685
512	6,04	6.042.059,37	62.139.099
513	6,39	6.388.673,09	68.354.466
514	6,77	6.772.064,16	74.934.834
515	7,21	7.212.410,08	81.927.071

<b>Cota- área- Volume- Barragem Lontras</b>			
<b>Cota (m)</b>	<b>Área (km2)</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>Volume (m3)</b>
516	7,64	7.644.246,66	89.355.400
517	8,10	8.101.175,05	97.228.111
518	8,60	8.602.332,81	105.579.864
519	9,13	9.127.013,13	114.444.537
520	9,68	9.682.715,73	123.849.402
521	10,28	10.281.628,16	133.831.574
522	10,88	10.877.341,32	144.411.059
523	11,48	11.475.139,60	155.587.299
524	12,13	12.126.602,62	167.388.170
525	12,82	12.816.736,62	179.859.840
526	13,54	13.539.564,48	193.037.990
527	14,31	14.305.489,27	206.960.517
528	15,05	15.052.685,02	221.639.604
529	15,89	15.887.141,53	237.109.518
530	16,65	16.648.564,54	253.377.371
531	17,48	17.475.263,09	270.439.284
532	18,33	18.325.923,12	288.339.878
533	19,15	19.152.991,04	307.079.335
534	20,03	20.025.422,13	326.668.541
535	20,89	20.889.436,88	347.125.971
536	21,79	21.789.203,27	368.465.291
537	22,75	22.745.077,20	390.732.431
538	23,71	23.709.697,04	413.959.818
539	24,67	24.671.926,38	438.150.630
540	25,68	25.679.819,80	463.326.503



## 4. DESENHOS DO PROJETO

---

#### 4. DESENHOS DO PROJETO

Os desenhos que compõem o Projeto Executivo da barragem Lontras são relacionados a seguir:

DESCRIÇÃO	NÚMERO
<b>01 - GERAL</b>	
Barragem Lontras - Localização e Acessos	BL-PE-01-01/17
Barragem Lontras - Bacia Hidráulica- Curvas Cota x área x Volume	BL-PE-01-02/17
Barragem Lontras – Planta de Locação dos Eixos das Obras	BL-PE-01-03/17
Barragem Lontras - Perfil Longitudinal Topográfico do Eixo da	BL-PE-01-04/17
Barragem Lontras – Arranjo Geral das Obras	BL-PE-01-05/17
Barragem Lontras – Planta de Locação das Sondagens	BL-PE-01-06/17
Barragem Lontras – Perfil Geotécnico da Barragem	BL-PE-01-07/17
Barragem Lontras – Localização Geral das Ocorrências de Materiais	BL-PE-01-08/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J	BL-PE-01-09/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J02	BL-PE-01-10/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J03	BL-PE-01-11/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J04	BL-PE-01-12/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J04	BL-PE-01-13/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J05	BL-PE-01-14/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J09	BL-PE-01-15/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J10	BL-PE-01-16/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais do Areal do rio	BL-PE-01-17/17
<b>02 - MACIÇO</b>	
Barragem Lontras – Planta de Escavação da Fundação da Barragem	BL-PE-02-01/40
Barragem Lontras – Seção Máxima e Detalhes	BL-PE-02-02/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 02 a 07	BL-PE-02-03/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 08 a 10	BL-PE-02-04/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 11 e 12	BL-PE-02-05/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 13 e 14	BL-PE-02-06/40

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 15 e 16	BL-PE-02-07/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 17 e 18	BL-PE-02-08/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 19 e 20	BL-PE-02-09/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 21 e 22	BL-PE-02-10/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 23 e 24	BL-PE-02-11/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 25 e 26	BL-PE-02-12/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 27 e 28	BL-PE-02-13/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 29 e 30	BL-PE-02-14/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 31 e 32	BL-PE-02-15/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 33 e 34	BL-PE-02-16/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 35 e 36	BL-PE-02-17/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 37 e 38	BL-PE-02-18/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 39 e 40	BL-PE-02-19/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 41 e 42	BL-PE-02-20/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 43 e 44	BL-PE-02-21/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 45 e 46	BL-PE-02-22/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 47 e 48	BL-PE-02-23/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 49 e 50	BL-PE-02-24/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 51 e 52	BL-PE-02-25/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 53 a 60	BL-PE-02-26/40
Barragem Lontras – Cortina de Injeção – Planta baixa e perfil	BL-PE-02-27/40
Barragem Lontras – Cortina de Injeção – Seção e Detalhes	BL-PE-02-28/40
Barragem Lontras – Cortina de Injeção – Trechos -3+8,72 a 28	BL-PE-02-29/40
Barragem Lontras – Cortina de Injeção – Trechos 28 a 60+10,00	BL-PE-02-30/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Planta Baixa	BL-PE-02-31/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 9+10 e 12+10	BL-PE-02-32/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 12+10 e 14+00	BL-PE-02-33/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 18+00 e 24+00	BL-PE-02-34/40

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 28+00 e 32+00	BL-PE-02-35/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 32+10 e 36+00	BL-PE-02-36/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 40+00 e 44+00	BL-PE-02-37/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 50+00, 52+10 e	BL-PE-02-38/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Piezômetros, Inclínômetros e	BL-PE-02-39/40
Barragem Lontras – Drenagem Superficial	BL-PE-02-40/40
<b>03 - ETAPAS CONSTRUTIVAS</b>	
Etapas Construtivas - Fase 1	BL-PE-03-01/08
Etapas Construtivas- Fase 2	BL-PE-03-02/08
Etapas Construtivas- Fase 3	BL-PE-03-03/08
Etapas Construtivas- Fase 4	BL-PE-03-04/08
Etapas Construtivas- Fase 5	BL-PE-03-05/08
Etapas Construtivas- Fase 6	BL-PE-03-06/08
Etapas Construtivas- Detalhes Canal de Desvio e Ensecadeira 1	BL-PE-03-07/08
Etapas Construtivas- Detalhes - Ensecadeira 2 e 3	BL-PE-03-08/08
<b>04 - SANGRADOURO</b>	
Sangradouro- Arranjo Geral	BL-PE-04-01/24
Sangradouro- Cortes Transversais Típicos	BL-PE-04-02/24
Sangradouro- Perfil Longitudinal do Muro Lateral Direito	BL-PE-04-03/24
Sangradouro- Perfil Longitudinal do Muro Lateral Esquerdo	BL-PE-04-04/24
Sangradouro- Vista do Muro Direito	BL-PE-04-05/24
Sangradouro- Vista do Muro Esquerdo	BL-PE-04-06/24
Sangradouro- Cortes dos Muros Laterais e Detalhes	BL-PE-04-07/24
Sangradouro- Planta de Escavação	BL-PE-04-08/24
Sangradouro- Perfil de Escavação pelo Eixo	BL-PE-04-09/24
Sangradouro- Perfil Creager e Detalhes	BL-PE-04-10/24
Sangradouro- Detalhe das Juntas	BL-PE-04-11/24
Sangradouro- Detalhe dos Chumbadores	BL-PE-04-12/24

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Sangradouro- Planta de Drenagem	BL-PE-04-13/24
Sangradouro- Detalhes da Drenagem	BL-PE-04-14/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Montante (M0-M08)	BL-PE-04-15/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J00-J10)	BL-PE-04-16/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J11-J25)	BL-PE-04-17/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J26-J37)	BL-PE-04-18/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J38-J45)	BL-PE-04-19/24
Sangradouro- Estrutural dos Muros- Seção AA e BB	BL-PE-04-20/24
Sangradouro- Estrutural dos Muros- Seção CC e DD	BL-PE-04-21/24
Sangradouro- Estrutural dos Muros- Seção EE e FF	BL-PE-04-22/24
Sangradouro- Estrutural dos Muros- Seção GG e HH	BL-PE-04-23/24
Sangradouro- Estrutural da Laje	BL-PE-04-24/24
<b>05 - TOMADA D'ÁGUA</b>	
Tomada D' Água – Planta	BL-PE-05-01/21
Tomada D' Água – Perfil Longitudinal- Escavação	BL-PE-05-02/21
Tomada D' Água – Escavação- Seções 01 a 20	BL-PE-05-03/21
Tomada D' Água – Escavação- Seções 21 a 38+8,99	BL-PE-05-04/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural- Planta e Seção	BL-PE-05-05/21
Tomada D' Água – Boca de Entrada de Montante- Detalhes	BL-PE-05-06/21
Tomada D' Água – Torre- Detalhes	BL-PE-05-07/21
Tomada D' Água – Casa de Comando da Comporta - Detalhes	BL-PE-05-08/21
Tomada D' Água – Casa de Comando das Válvulas - Detalhes	BL-PE-05-09/21
Tomada D' Água – Equipamentos Hidromecânicos - Detalhes	BL-PE-05-10/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Cortes e Escada	BL-PE-05-11/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Armadura Bloco,Vigas	BL-PE-05-12/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura dos Pilares	BL-PE-05-13/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura do Patamar	BL-PE-05-14/21

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura do Patamar	BL-PE-05-15/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura Patamar 11	BL-PE-05-16/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura do Forro e	BL-PE-05-17/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Galeria: Forma e Armadura	BL-PE-05-18/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Casa de Comando de	BL-PE-05-19/21
Tomada D' Água- Projeto Estrutural – Casa de Comando de Válvulas:	BL-PE-05-20/21
Tomada D' Água – Pro Estr.–Casa Comando de Válvulas: Armadura	BL-PE-05-21/21
<b>06 - DESCARGA DE FUNDO</b>	
Descarga de Fundo- Planta e Perfil do Sistema	BL-PE-06-01/24
Descarga de Fundo- Seções de Escavação - Seções 01-14	BL-PE-06-02/24
Descarga de Fundo- Seções de Escavação – Seção 15-28	BL-PE-06-03/24
Descarga de Fundo- Seções de Escavação – Seção 29-37	BL-PE-06-04/24
Descarga de Fundo- Planta e Seção	BL-PE-06-05/24
Descarga de Fundo- Boca de entrada de Montante- Detalhes	BL-PE-06-07/24
Descarga de Fundo- Torre - Detalhes	BL-PE-06-08/24
Descarga de Fundo- Casa de Comando da Comporta - Detalhes	BL-PE-06-09/24
Descarga de Fundo- Casa de Comando de Válvula – Detalhes 1	BL-PE-06-10/24
Descarga de Fundo- Casa de Comando de Válvula – Detalhes 2	BL-PE-06-11/24
Descarga de Fundo- Casa de Comando de Válvula – Detalhes 3	BL-PE-06-12/24
Descarga de Fundo- Equipamentos Hidromecânicos - Detalhes	BL-PE-06-13/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre de comando da	BL-PE-06-05/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura Vigas N1	BL-PE-06-14/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura Vigas N7	BL-PE-06-15/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura Laje 13	BL-PE-06-16/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura Vigas N12	BL-PE-06-17/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural -Torre: Armadura dos	BL-PE-06-18/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Formas da Escada	BL-PE-06-19/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura da Escada	BL-PE-06-20/24

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Galeria- Seção e Armadura	BL-PE-06-21/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Boca de Montante: Planta e	BL-PE-06-22/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Boca de Jusante: Armadura	BL-PE-06-23/24
Descarga de Fundo-Projeto Estrutural- Boca de Jusante: Vigas,	BL-PE-06-24/24
07 - CANTEIRO DE OBRAS	
Canteiro de obras- Arranjo Geral	BL-PE-07-01/09
Canteiro de Obras- Administração	BL-PE-07-02/09
Canteiro de Obras- Oficina	BL-PE-07-03/09
Canteiro de Obras- Refeitório	BL-PE-07-04/09
Canteiro de Obras- Portaria/ Chaperia	BL-PE-07-05/09
Canteiro de Obras- Ambulatório	BL-PE-07-06/09
Canteiro de Obras- Alojamento Administração	BL-PE-07-07/09
Canteiro de Obras- Alojamento dos Engenheiros	BL-PE-07-08/09
Canteiro de Obras - Sanitários e Vestiários	BL-PE-07-09/09

## 5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM

---

## 5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM

### 5.1. Generalidades

Neste capítulo é apresentado o memorial descritivo do projeto da Barragem Lontras no município de Ipueiras que será construída barrando o rio Inhuçu no ponto de coordenadas N=9.499.355 e E=283.200. O eixo localiza-se cerca de 4 km a montante da zona urbana do distrito de São José das Lontras.

O desenvolvimento deste item é feito abordando os seguintes tópicos:

- Escolha do Eixo Barrado;
- Escolha do Tipo de Barragem;
- Fundação da Barragem;
- Maciço da Barragem;
- Sangradouro;
- Tomada D' água.

## 5.2. Escolha do Eixo Barrado

Com base na restituição das imagens do satélite Geoyes e na inspeção direta de campo selecionou-se algumas alternativas de possível localização da barragem Lontras, tendo como premissa que, para a capacidade volumétrica do futuro reservatório (entre 350 e 400 Hm<sup>3</sup>), o eixo do barramento deveria situar-se a uma distancia a jusante do perímetro urbano da cidade de Croatá suficiente para não inunda-lo. Ao mesmo tempo deveria representar o menor volume de aterro para o maciço e condições satisfatórias para implantação do sistema de sangria.

As alternativas levantadas foram as seguintes:

- a) Eixo definido nos estudos de viabilidade realizados pelo consórcio Montgomery Watson/ Engesoft, chamado eixo Lontras
- b) Eixo distando cerca de 800 m a jusante do anterior, denominado Lontras 1
- c) Eixo a jusante dos dois primeiros e imediatamente a montante da zona urbana de São Jose das Lontras, chamado Lontras 2.

Nesses locais escolhidos como alternativos foram implantados topograficamente os eixos escolhidos como de possível barramento e de sistema de sangria. Um reconhecimento geológico preliminar de superfície foi realizado ao longo desses eixos.

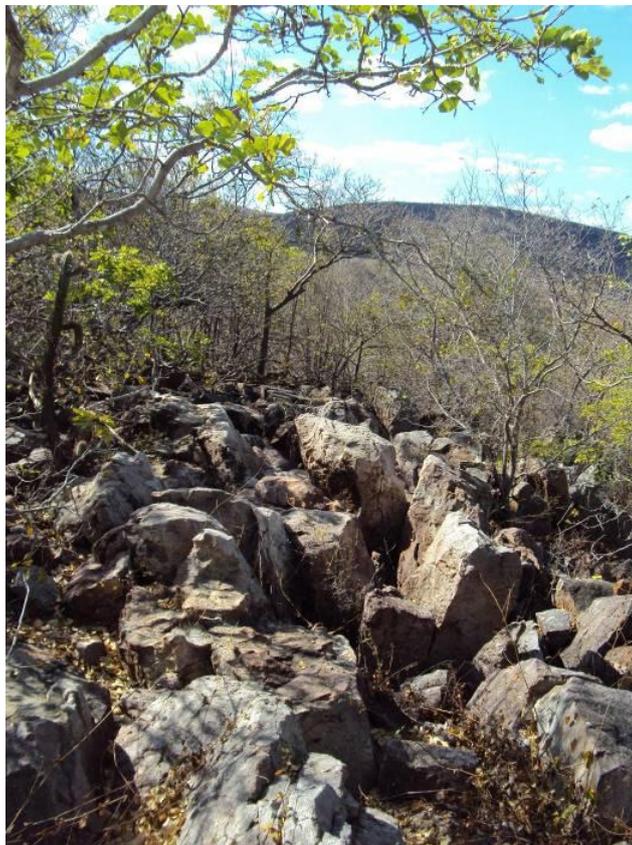
Com esses elementos e a base cartográfica, obtida pela restituição das imagens de satélite, definiu-se a cota do lago do reservatório, e conseqüentemente, do coroamento dos maciços das barragens. Definiram-se, para uma mesma seção tipo, os volumes dos aterros e escavações no sangradouro e a estimativa de custo para cada alternativa.

Os eixos Lontras 1 e Lontras 2 situam-se num trecho onde o rio apresenta uma declividade acentuada (média de 8%), com leito encaixado e ombreiras distantes e relativamente íngremes. No eixo Lontras 2 o rio transcorre por um “Canyon” de 35 m de altura, no Lontras 1 por um acidente semelhante, porém com cerca de 15 m de altura, o que acarretou em barragens mais altas e mais volumosas que a alternativa do eixo Lontras, situado em seção mais suave do rio.

Dentre as 3 alternativas o eixo Lontras mostrou-se mais atraente, quer em termos de extensão, volume de maciço, custo de implantação e de sistema de execução dos trabalhos.

No entanto, iniciados os trabalhos de investigação geológica detalhada do eixo Lontras cogitou-se de uma possível anomalia na ombreira esquerda, que deveria ser investigada por meio de sondagens.

Procedeu-se, então duas sondagens rotativas com diâmetro HX nesta ombreira. Ambas as sondagens apresentaram perda do fluido de lavagem, fraturas abertas e preenchidas, de várias espessuras, intercalações de solos, instabilidade do furo (tendo de ser permanentemente revestidos) e impossibilidade de realizar ensaios de perda d'água de cinco estágios, por perda total da água injetada. Com estes resultados confirmaram-se as adversas condições da fundação na ombreira esquerda deste eixo, que exigiriam escavações de grande profundidade para assegurar uma estanqueidade sob o maciço e, principalmente, de uma estabilidade do conjunto maciço- fundação.



**Figura 5.1: Ombreira esquerda do eixo Lontras, onde foi observado indícios de anomalias geológicas que poderiam condicionar o projeto da barragem.**

Buscou-se então um eixo posicionado a montante deste (600 m pela estrada de terra), onde se abriu uma picada exploratória e realizou-se uma investigação de superfície para avaliar os aspectos geológicos. Observou-se que as condições geológicas da ombreira esquerda não se assemelham as observadas no eixo Lontras e que, de um modo geral, eram muito mais favoráveis.

Com base nesta constatação implantou-se topograficamente um eixo no local, denominando-o Lontras B, e iniciou-se uma campanha de sondagens na ombreira esquerda para avaliação mais precisa das condições geológicas do substrato rochoso. Paralelamente realizou-se uma comparação entre os volumes de aterro para o barramento nas duas alternativas (Lontras e Lontras B), e conseqüentemente de custos de suas implantações, chegando-se a conclusão que ambas as alternativas se equivalem nesse aspecto.

Na imagem da **Figura 5.2** observa-se a posição do eixo Lontras e do Lontras B.



**Figura 5.2 - Localização do eixo Lontras B em relação ao eixo Lontras**

Após a conclusão de dois furos de sondagens na ombreira esquerda, que confirmaram as melhores condições geológicas do eixo Lontras B, este foi adotado para o desenvolvimento do projeto.

### 5.3. Escolha do Tipo de Barragem

Na eleição do tipo de barragem mais apropriado para o local escolhido observou-se que o condicionante mais relevante diz respeito aos aspectos geológicos/geotécnicos da região.

Estes aspectos se traduzem na disponibilidade quase exclusiva de solos arenosos finos, com ausência ou muito baixa plasticidade, e rochas areníticas com grande variabilidade no grau de coerência. Solos areno argilosos são raros e normalmente distantes da área da

barragem, areias com granulometria média ou grossa são praticamente inexistentes, assim como rochas graníticas ou gnaissicas.

Neste cenário concluiu-se a inviabilidade financeira de adoção de um maciço de gravidade em CCR, devida à necessidade de grandes distancias de transportes para os agregados (areia a 45 km e brita a 36 km) e pelas condições geológicas da fundação, que exigiriam profundas escavações em rochas areníticas incoerentes ou muito fraturadas, para o assentamento de uma barragem de gravidade.

Um balanceamento entre custos de escavações rochosas, transporte de solos coesivos e aproveitamento das escavações rochosas obrigatórias do sangradouro, levou a concepção de algumas alternativas de maciços mistos, com combinações de uso de solo areno argiloso e enrocamento ao longo do maciço da barragem.

A seção alternativa que se mostrou mais apropriada técnica e economicamente foi a que adota espaldar de montante de solo com presença de matacões de ate 20 cm de diâmetro, provenientes de jazidas próximas, espaldar de jusante de enrocamento, aproveitando as escavações obrigatórias do sangradouro e complementado pela exploração de pedreira, e núcleo central de solo areno argiloso, com pedregulho de ate 5 cm de diâmetro, proveniente das jazidas mais distantes.

Esta seção, assim com as demais alternativas, levaram em consideração as características do maciço rochoso de fundação, com elevada condutibilidade hidráulica e presença de intercalações de argilitos e siltitos.

Na **Figura 5.3** é apresentada uma representação da seção tipo adotado no projeto.

### Figura 5.3 - Barragem Lontras - Seção Tipo

## 5.4. Fundação

### 5.4.1. Considerações gerais

A análise das condições geológicas do maciço de fundação da Barragem de Lontras detalhadamente descritas nos estudos geológicos do Volume 1- Estudos Basicos, conduziu à conclusão que se trata de um maciço sedimentar da formação Serra Grande constituído essencialmente por arenitos coerentes a pouco coerentes, com alguns níveis de siltitos e argilitos incoerentes a pouco coerentes intercalados, frequentemente muito fraturados, em resultado da atividade tetônica que afetou esses terrenos ou da descompressão superficial do maciço. Os arenitos pouco coerentes ou incoerentes e os siltitos e argilitos têm no geral comportamento friável. A cobertura terrosa é em geral escassa, desde inexistente ( afloramentos rochosos) até cerca de 2 a 3 metros de espessura, e constituída por solos arenosos finos, por vezes siltosos, com alguns seixos e pequenos blocos

A realização de ensaios de perda de água no interior de algumas sondagens executadas ao longo do eixo do barramento e a posição dos níveis freáticos nessas sondagens permitem concluir que o maciço rochoso exhibe em geral elevada permeabilidade até profundidades variáveis, não compatível com o seu bom comportamento quando do enchimento do reservatório. Essa permeabilidade deverá resultar, essencialmente, da maior ou menor abertura das fraturas que ocorrem até às profundidades estudadas e não da porosidade dos níveis litológicos que compõem o maciço.

Toda a informação geológica e hidrogeológica sub-superficial que serviu de base à interpretação feita resultou da análise dos testemunhos e dos resultados dos ensaios de perda de água de um número relativamente pequeno de sondagens e de ensaios, tendo-se, no entanto, usado na campanha de sondagens todos os quantitativos contratados para o projeto. Com efeito, ao longo dos 1.170 metros de extensão do coroamento foram apenas executadas 14 sondagens mistas, com comprimentos entre 18 e 31 metros, o que corresponde a uma distância média entre furos de cerca de 85 metros, e no alinhamento do sangradouro, com 80 metros de extensão, foram executadas mais 3 sondagens mistas, com comprimentos entre 15 e 21,5 metros. Foram realizados ensaios de perda de água em apenas 10 sondagens no alinhamento do eixo da barragem e nas 3 sondagens executadas no alinhamento do sangradouro, num total de cerca de 120 ensaios de perda de água, já que não foi possível obturar alguns trechos ou ocorreu perda de água total em outros. A heterogeneidade do maciço rochoso furado, quer em termos da estrutura tectónica do terreno e do fraturamento associado, quer em termos de comportamento hidráulico, leva a recomendar a execução de uma campanha de sondagens complementar, no início da obra

visando fazer algum zoneamento geotécnico e hidráulico do maciço rochoso, que permita ajustar o projeto do tratamento antes de ser dado o seu início.

Assim, a viabilização do empreendimento em termos hidráulicos e de segurança exige que seja feito o tratamento do maciço de fundação, visando reduzir significativamente as vazões através do maciço rochoso e a possibilidade de a percolação provocar fenômenos de erosão interna nos níveis mais friáveis.

Atendendo ao modelo geológico, sucintamente descrito acima, fez-se uma ponderação sobre os procedimentos e técnicas que seriam mais adequados neste caso, para se atingirem os objetivos pretendidos. Nessa ponderação foi tido em conta que a barragem terá 1.172 metros de extensão e 56 metros de altura máxima.

A primeira consideração teve a ver com a possibilidade de se considerar uma seção para a barragem que diminuísse significativamente a velocidade de percolação pela sua fundação, através da redução do gradiente hidráulico que se virá a instalar com o enchimento do reservatório. Analisada a disponibilidade de solos finos nas jazidas estudadas, situadas a uma distância regionalmente aceitável, considerou-se que a seção mais favorável seria a de perfil misto, com o maciço de montante constituído integralmente por solo silto-argiloso com blocos até 0,20m de diâmetro, encostando ao núcleo argiloso com uma inclinação de 1:0,25 (v:h), que encosta a um filtro chaminé com uma inclinação de cerca de 1:0,35(v:h), e ao maciço de jusante constituído por enrocamento desejavelmente de blocos de arenito coerente a muito coerente, em parte resultante dos produtos da escavação prevista para a instalação do sangradouro e em parte explorado em pedra próxima. Atendendo a que o maciço de montante (solo fino com blocos) não assegura um grau de impermeabilidade satisfatório, decidiu-se prolongar o núcleo argiloso por um tapete impermeável com cerca de 2,4 m de espessura, subjacente a esse maciço, em toda a sua extensão

Na **Figura 5.3** está representada esquematicamente a seção-tipo concebida e que foi utilizada no projeto.

O gradiente hidráulico máximo resultante dessa seção é assim de cerca de 0,3.

Na situação de pleno armazenamento, a velocidade de percolação da água através do maciço de fundação será assim bastante moderada, daí resultando uma menor probabilidade para a ocorrência de fenômenos de erosão interna afetando os níveis mais friáveis. No entanto, considerou-se indispensável incorporar na seção da barragem, com o mesmo objetivo de impedir fenômenos de erosão interna, um sistema de filtro e dreno, com as respetivas camadas dimensionadas (granulometria e espessura) de forma a impedir o

arrastamento de partículas finas desses níveis mais friáveis, mantendo a integridade do maciço de fundação, assegurando assim a sua estabilidade.

Apesar dessas medidas incorporadas na seção da barragem, considerou-se que seria ainda indispensável estudar um sistema de tratamento do maciço de fundação que atuasse no sentido de diminuir o seu grau de permeabilidade.

Para o efeito, fez-se uma listagem de tecnologias que poderiam ser utilizadas com esse objetivo, tendo-se considerado, para além do tratamento mais convencional com cortinas de injeção de caldas cimentícias, a realização de parede diafragma com emprego de hidrofresa, a execução de cortina de estacas secantes não armadas e ainda cortina com colunas de jet-grouting.

Atendendo aos resultados das investigações geotécnicas, e tendo em atenção as considerações feitas sobre o número reduzido de sondagens e ensaios de perda de água, face à extensão da barragem, concluiu-se que, qualquer que fosse a solução tecnológica, o tratamento teria que ser feito ao longo de toda a fundação e pelo menos até cerca de 30 metros de profundidade, em grande parte da sua extensão.

Em relação à realização de uma parede diafragma com emprego de hidrofresa capaz de cortar uma trincheira com um mínimo de 0,6 m de largura, teríamos uma parede com uma área total de cerca de 40.000 m<sup>2</sup> e um volume de concreto de cerca de 25.000 m<sup>3</sup>. Trata-se de equipamento e tecnologia introduzidos no Brasil nos últimos anos, existindo já algumas empresas especializadas equipadas para executarem esse serviço. Dadas as dimensões da obra, essa solução teria um custo desproporcionado ao custo de construção do aproveitamento, atendendo a que o valor unitário de uma parede diafragma construída em rocha com hidrofresa é cerca de 5 a 6 vezes superior ao valor de uma parede diafragma construída em maciço terroso. Por essa razão, não se considerou essa solução para conter a percolação da água através do maciço rochoso de fundação, embora ela fosse a que desse maior garantia de eficácia.

A solução de cortina de estacas secantes não armadas parece ser igualmente de preço desproporcionado em relação ao custo total da obra. Considerando estacas de 1,20 metros de diâmetro e os mesmos 30m de comprimento no maciço rochoso, a cortina exigiria cerca de 1.200 estacas com um comprimento total de cerca de 35.000 metros. Acresce que a garantia de não passagem de água através da cortina não é total, como é no caso da parede diafragma, em virtude de poder haver desvios da vertical que podem atingir 2%, deixando então janelas na estrutura que permitem a passagem.

Uma solução de cortina com colunas de jet grouting, cada vez mais utilizada para reforço de maciços terrosos, não tem aplicação apropriada no caso de maciços rochosos com significativas passagens de rochas coerentes e de elevada resistência, como é o caso. A utilização de pressões elevadas para a constituição das colunas iria conduzir ao desarranjo do maciço rochoso, sendo o seu efeito final de difícil controle e de problemática eficácia. Razões pelas quais também se considerou que esta não seria solução a reter.

Nessas condições, considerou-se que a solução mais adequada e de menor custo seria a mais convencional, consistindo na execução de uma cortina de furos de injeção de caldas resultantes de misturas de cimento e água e, em certas situações, de aditivos. O projeto de tratamento das fundações que se apresenta é assim baseado nessa solução.

Contudo, tendo em atenção a muito elevada permeabilidade exibida pelo maciço até profundidades em média de cerca de 15 m, resultante, em nossa avaliação, do expressivo fraturamento do maciço rochoso, com fraturas abertas não preenchidas ou preenchidas por materiais facilmente removíveis com água injetada com alguma pressão, considerou-se que, para tornar eficiente a cortina de injeções e evitar que as caldas injetadas percorressem distâncias apreciáveis em relação ao alinhamento da cortina, seria necessário executar duas cortinas de contenção, uma de cada lado da cortina de injeção, até aquelas profundidades.

Essas duas cortinas de contenção, na maior parte da sua extensão com cerca de 15 metros de profundidade, serão executadas previamente e em alinhamentos paralelos e exteriores à cortina de injeções, com recurso à injeção de caldas mais espessas, se necessário com aditivo fluidificante, mas de pega rápida. O espaçamento entre furos no alinhamento de cada cortina de contenção será o que assegura um preenchimento continuado das fraturas do maciço rochoso com as caldas injetadas.

Executadas essas cortinas exteriores de contenção, cujos alinhamentos ficarão afastados entre si de 4,5 m, estarão criadas as condições para se proceder à injeção das caldas da cortina de impermeabilização alinhada entre as duas de contenção. É expetável que as injeções de impermeabilização, com caldas mais fluidas e pressões mais elevadas, concentrem a penetração das caldas nas fraturas localizadas preferencialmente nessa banda, contribuindo dessa forma para uma redução drástica da permeabilidade do maciço rochoso e para um comportamento hidráulico satisfatório. Essas mesmas caldas não terão em vista penetrar nos poros das rochas mais brandas e de matriz mais fina, dado se considerar que a percolação através deles terá pouco significado para o comportamento hidráulico da fundação.

Uma consideração final relativa à eventual utilização de uma galeria de injeção a construir num cut-off escavado entre os alinhamentos das cortinas de contenção. Reconhecem-se várias vantagens na existência de uma galeria de injeção em barragens de altura superior a 40 m, quer durante a construção do aterro da barragem (que nessas condições pode ser executado em simultâneo com o tratamento do maciço de fundação), quer para posterior inspeção da barragem, na fase de operação do reservatório, e ainda para a execução de eventuais reforços do tratamento da fundação ao longo da vida da obra, sem que os furos de injeção tenham que atravessar toda a altura de aterro até atingirem o maciço rochoso. Analisada a situação da barragem de Lontras, essa galeria teria uma extensão total de cerca de 1.150 m, praticamente igual à extensão da barragem.

Tendo em atenção o custo adicional correspondente à construção da galeria de injeção, em concreto armado com altura de 3,0m e largura de 2,0 m, foi decidido abandonar essa solução e projetar o tratamento de impermeabilização a partir de um plinto construído na base de um cut-off, escavado sob o núcleo.

#### **5.4.2 Tratamento da fundação**

Levando em conta as características geológicas e hidrogeológicas do maciço de fundação da barragem e do vertedouro, considerou-se indispensável proceder ao seu tratamento, visando reduzir significativamente a permeabilidade dos respetivos terrenos.

A descrição detalhada das condições geológicas do local do barramento encontra-se no item Estudos Geológicos e Geotécnicos. Nele figura a descrição litológica e estrutural do complexo sedimentar da Formação Serra Grande, compreendendo arenitos finos a grosseiros com intercalações de estratos de espessura reduzida de siltitos e argilitos, que constitui o maciço de fundação, bem como considerações sobre a morfologia da região. Nele figura a descrição dos estudos geofísicos realizados na ombreira direita que evidenciam um lineamento geológico de falhamento associado à presença do dique de rocha básica identificado nas sondagens SM-09 e SM-23.

Da análise dos dados de campo e dos testemunhos das sondagens executadas no alinhamento da barragem e dos resultados dos ensaios de perda de água, até cerca de 30 metros de profundidade, conclui-se que, no geral, os terrenos da fundação ocorrem apreciavelmente fraturados, apresentando-se fragmentados e alterados nos primeiros metros, em decorrência do intemperismo que afeta todos os níveis litológicos. Considerando-se que a matriz dos arenitos em especial dos coerentes, dos siltitos e dos argilitos exibe reduzida permeabilidade, as elevadas perdas de água nos ensaios no interior dos furos de sondagem resultam da presença de descontinuidades com maior ou menor

abertura. Neste complexo, as descontinuidades são essencialmente resultantes da estratificação, de juntas de alívio e do diaclasamento tectônico.

Os ensaios de perda de água permitem concluir que, apesar da heterogeneidade, o maciço de fundação exhibe elevada permeabilidade em toda a extensão da barragem e, por vezes, até à profundidade atingida pelas sondagens. Essa constatação é também evidenciada pela posição do nível de água no interior dos furos de sondagem. Com efeito, o nível de água no maciço rochoso tem um andamento, em geral, quase horizontal, correspondente ao nível de água na calha do rio (Figura 5.3), não tendo sido encontrado nas sondagens executadas nas estacas em cotas iguais ou superiores a 500,00.

A estrutura do complexo sedimentar caracteriza-se por uma atitude em geral sub-horizontal dos estratos, com mergulhos que não ultrapassam em regra 20°, podendo atingir cerca de 40° em resultado da ocorrência em alguns estratos de estratificação cruzada e por descontinuidades em geral rugosas, orientações variadas e mergulhos mais frequentes entre 70 e 75°, por vezes 45 a 50°. As sondagens SM-09 (estaca 12 no eixo) e SM-23 (estaca 12 -60 m jusante) atravessaram, como já referido, um corpo de rocha ígnea extrusiva, possivelmente diabásio. Foi considerado como mais provável tratar-se de um dique intrudido nos sedimentos que constituem o maciço rochoso de fundação, tendo os resultados da prospecção geofísica levado a considerar que essa estrutura terá um alinhamento montante-jusante e uma espessura da ordem da dezena de metros. Acresce que a sua intrusão provocou significativa perturbação nas rochas sedimentares envolventes, provavelmente em cerca de duas a três dezenas de metros para cada lado do dique. Essa perturbação parece atingir a dúzia de metros em profundidade. Essa ocorrência implica a necessidade de a superfície de fundação ser afundada da ordem da dezena de metros, em média, numa extensão total de cerca de 100 m, aproximadamente entre as estacas 9 e 14.

**Figura 5.4 - Nível de Água no interior dos Furos de Sondagem**

O complexo rochoso encontra-se recoberto por uma camada de solo essencialmente arenoso e por vezes siltoso e rocha muito fragmentada, com espessura variável, sendo frequente de 1 a 2 metros. Na parte inferior de ambas as ombreiras o maciço rochoso ocorre recoberto por solos com fragmentos rochosos que poderão corresponder a terraços aluvionares com espessuras que atingem cerca de 3,0 m (3,5 m na sondagem SM-13). Atendendo a que se trata de uma barragem de aterro de cerca de 60 m de altura máxima, a remoção desse material com a lâmina de um trator (bulldozer) será suficiente para definir uma superfície de fundação adequada à estabilidade da obra. Na calha do rio há que remover a totalidade das aluviões, incluindo os blocos areníticos de apreciáveis dimensões.

O tratamento do maciço de fundação é fundamentalmente de impermeabilização e, pelas razões apontadas na introdução, ele consistirá essencialmente na execução de uma cortina ao longo de toda a extensão da barragem e do vertedouro. As profundidades dos furos são de 30 m em grande extensão da barragem, entre as estacas 10 e 53, reduzindo-se essa profundidade até 15 m sob o vertedouro e na parte superior das ombreiras, onde a altura da água será bem menor, como se mostra nos desenhos de “Cortina de Injeção” do Tomo 2-Desenhos.

Os trabalhos iniciar-se-ão pela escavação de um cut-off na base do núcleo, na vertical do coroamento da barragem, com cerca de 2 a 3 m de profundidade e com uma largura na base de 6 m. Os taludes de escavação terão inclinação de 1:2 (v:h) para criar condições para uma boa compactação do aterro no seu interior. A escavação da rocha até essa profundidade (em geral alterada e muito fraturada) será facilmente conseguida com ripper não sendo necessário, em princípio, recorrer à utilização de explosivos. As superfícies dos taludes de escavação e de trechos de 5 m para cada lado serão regularizadas com camada de 0,10 m de espessura de concreto projetado, visando assegurar boas condições para a compactação do solo no interior do cut-off. A base da trincheira será recoberta por uma laje de concreto simples com  $F_{ck} = 20\text{MPa}$  (plinto), com cerca de 1 m de espessura, cuja finalidade é permitir instalar em boas condições o obturador usado na injeção das caldas no primeiro trecho dos furos e ainda contribuir com ligeira contra-pressão quando da injeção nos furos das cortinas.

A partir da base do cut-off serão executadas, numa primeira fase, duas cortinas de contenção, afastadas entre si de 4,5 m, atingindo 15 m de profundidade em toda a extensão da barragem, (com exceção do trecho entre aproximadamente as estacas 9 e 14 onde as cortinas terão apenas 10 m de profundidade, em virtude da escavação adicional que será realizada nessa zona) profundidades essas correspondente à espessura do maciço que exibiu grandes absorções e perda de água total nos ensaios de perda de água. Apesar

da existência da laje de concreto, acima mencionada, a pressão de injeção das caldas a utilizar nessas cortinas nos primeiros metros de furação será moderada (2 a 3 Kg/cm<sup>2</sup>) para não contribuir para a descompressão do maciço rochoso. Os furos das cortinas de contenção serão executados com diâmetro de 4” com equipamento rotopercussivo, afastados 3m uns dos outros. Os trechos a injetar terão comprimento de 5 m, cada. Essas caldas, à base de misturas de água e cimento, deverão ser suficientemente espessas para penetrarem nas fraturas num raio de pequena dimensão, visando constituir um anteparo (contenção) às injeções de caldas mais fluidas que posteriormente irão ser usadas na cortina de impermeabilização. No volume das Especificações Técnicas estão indicados os tipos de caldas e as pressões a utilizar, bem como a sequência da injeção nos furos das cortinas de contenção.

Executadas as duas cortinas de contenção, estão criadas as condições para iniciar a cortina de impermeabilização. Considerou-se que a sua eficácia será conseguida com recurso a duas linhas de injeção afastadas 1,5 m entre si e 1,5 m da correspondente cortina de contenção. Os furos serão executados em quincôncio, visando uma melhor distribuição das caldas tal como no desenho “Cortina de Injeção- Planta baixa e seção” e a sua injeção, em cada linha, será feita alternadamente usando a técnica de “split spacing”. Primeiro são injetados os furos primários, afastados 12 m uns dos outros, seguidamente os secundários, a meia distância, afastados 6 m dos primários e, se necessário, os furos terciários igualmente a meia distância dos anteriormente executados, com afastamento de 3 m em relação a eles. Os furos da cortina de impermeabilização terão 30 m de comprimento na zona central da barragem , entre as estacas 8 e 53 (atendendo à grande escavação prevista entre as estacas 9 e 14, neste trecho o comprimento dos furos será de cerca de 20 m) , 20 m de comprimento entre as estacas 6 e 8 e 53 a 57 e 15m de comprimento entre as estacas -2 e 6 e 57 a 60+10. Todos eles serão executados com 3” de diâmetro, sendo os **primários alternados** (afastados 24 m) de apenas uma das linhas de injeção executados com sonda rotativa e barrilete duplo para obtenção de testemunhos do terreno e todos os restantes das duas linhas com equipamento rotopercussivo. Nos furos primários alternados executados com sonda rotativa serão realizados ensaios de perda de água com 3 estágios de pressão em trechos de 5 m, em toda a extensão e nos restantes esses ensaios serão realizados apenas no último trecho. Os trechos de injeção de calda têm igualmente 5 m de comprimento. No volume das Especificações Técnicas estão indicados os critérios para a execução dos ensaios de perda de água, bem como os tipos de caldas e as pressões a utilizar, a sequência de execução, o recurso a aditivos, etc.

Nas Especificações Técnicas figuram ainda os critérios que devem ser seguidos para se aquilatar a eficácia do tratamento de impermeabilização. As ações correspondentes devem ocorrer **na fase de execução das injeções** (redução progressiva de perda de água e de tomada de cimento nos furos subsequentes), **após serem dadas por terminadas as injeções** (através da execução de alguns furos de sondagem rotativos com orientação diferente da dos furos da cortina, acompanhados de ensaios de perda de água) e **após terminarem as obras**, na fase de enchimento do reservatório e sua posterior operação (auscultação com piezômetros hidráulicos no maciço rochoso, nas mesmas seções transversais onde serão instalados outros piezômetros para avaliação do comportamento do aterro do núcleo e com medidores de vazão localizados no pé da barragem, na calha do rio Inhuçu e nas ombreiras da barragem, a meia altura).

Os furos das cortinas de contenção e da cortina de impermeabilização serão verticais, o que simplifica a sua execução. Tal é compatível com a estrutura geológica do maciço rochoso, caracterizada, como já referido, por estratos com mergulhos de 10° a 20° e famílias de diaclases com variadas orientações e mergulhos mais frequentes da ordem de 70 a 75°, por vezes 45°. Na zona perturbada pelo dique de diabásio, prevê-se a possibilidade de fazer um tratamento específico, com recurso a furos inclinados ( 30° a 45° com a vertical ), visando o atravessamento da rocha ígnea e o seu mais eficaz tratamento de impermeabilização. Tal tratamento específico, contudo, só poderá ser detalhado no decorrer dos trabalhos, em função da natureza e da estrutura do maciço que virá a constituir a fundação da barragem, após a expressiva escavação prevista para essa zona. Nos desenhos do projeto (Tomo 2) figura um esquema desse tratamento que visa sobretudo atuar no caso de ocorrência de fraturas verticais, dificilmente tratadas com os furos verticais previstos para a cortina de impermeabilização.

Atendendo à natureza das formações e à heterogeneidade do maciço rochoso, considera-se essencial anteceder os trabalhos do tratamento da fundação pela execução de duas cortinas experimentais, afastadas uma da outra, localizadas nos alinhamentos das cortinas, escolhidos de acordo com os resultados das sondagens realizadas. Em princípio, pelas razões anteriormente apontadas, uma dessas cortinas experimentais deverá localizar-se entre as estacas 24 e 28 , zona onde o maciço rochoso de fundação da barragem parece ser mais permeável até as profundidades ensaiadas, e a outra entre as estacas 40 e 44, zona onde o maciço rochoso se exhibe bastante menos permeável em toda a profundidade ensaiada, abaixo dos 5 metros superficiais do terreno natural. Com a execução dessas cortinas experimentais pretende-se testar a penetrabilidade das várias caldas, face às

pressões de injeção, o equipamento de ensaio de perda de água e de injeção das caldas, bem como outros procedimentos recomendados no projeto.

As Especificações Técnicas têm indicações para boa execução dos trabalhos e critérios de aceitação da sua qualidade.

Um detalhe que merece atenção na escavação da fundação, diz respeito à região compreendida entre o limite da zona da escavação do corpo de rocha básica extrusiva (provavelmente entre estaca 14 e a estaca 18), onde se faz necessária uma escavação rochosa com fogo controlado, em toda região sob o núcleo e espaldar jusante da barragem, para propiciar o escoamento das águas coletada pelo tapete drenante, na direção do leito do rio. Esta escavação é necessária para evitar o “afogamento” do sistema de drenagem horizontal situado dentro da zona da escavação da rocha básica e, conseqüentemente, da saturação do solo do núcleo argiloso. Nos desenhos das seções transversais e no perfil geológico, apresentados no Tomo 2- Desenhos, são mostrados detalhes desta escavação rochosa, que alcançará cerca de 4,0 de profundidade.

Em síntese pode-se relacionar os principais serviços previstos para a fundação da barragem, como:

- escavação da cobertura de solo e rochas incoerentes/pouco coerentes e muito fraturadas com lamina de trator de esteiras;
- escavação da rocha coerente, com fogo controlado, da fundação do núcleo e espaldar de jusante, no trecho compreendido aproximadamente entre estacas 14 e 18;
- escavação do cut-off central em rocha coerente muito fraturada com uso contínuo de escarificadores (ripper);
- construção de uma laje de concreto no fundo do cut-off (plinto) e jateamento de concreto nos taludes e 5,0 m para cada lado;
- execução de duas linhas de cortina de contenção ao longo de toda a barragem e sangradouro;
- execução de duas linhas de cortina de impermeabilização.

### **5.5. Maciço da Barragem**

Este item tem a finalidade de descrever com detalhes a seção tipo adotada para a Barragem Lontras que apresenta as seguintes características:

### a) Cota e Largura da Crista

A cota do reservatório máximo normal foi definida com base nos estudos hidrológicos, que definiram o volume de acumulação mais apropriado para o reservatório e a condição de não transbordamento para a situação de cheia milenar associada a ação das ondas do reservatório. A cota do sangradouro foi, portanto, definida em 535,00 m, acumulando um volume de 347,13 hm<sup>3</sup>. A partir da definição da cota da soleira e das informações hidrológicas sobre a lâmina milenar e decamilenar foi determinada a altura da onda, em função do fecht, e a partir daí calculou-se a folga. Considerando a lâmina da cheia milenar obteve-se a revanche  $R = 4,39$  m, valor este que acarretou na escolha da cota de coroamento de 540,00 m. Este valor foi verificado para a cheia decamilenar acrescida de uma proteção adicional de 0,50 m e mostrou-se seguro.

A largura do coroamento foi determinada pela fórmula de Preece e se obteve um valor próximo a 9,00m, tendo este sendo adotado. A seção transversal apresenta um caimento de 2% para montante. A camada final com 0,30cm de espessura será executada com material pétreo de “fundo de pedreira” ou cascalho areno argiloso compactado. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios moldados “in situ” com saída d’água para montante, espaçadas de 20,00m em 20,00m.

No contato do maciço da barragem com o muro do sangradouro será implantada uma proteção do tipo guarda corpo tubular com aço inoxidável.

### b) Zoneamento da seção da barragem

A Barragem Lontras constitui-se de uma seção mista, com o maciço de montante constituído integralmente por solo silto-argiloso com blocos até 0,20m de diâmetro, encostando ao núcleo argiloso com uma inclinação de 1:0,25 (v:h), que encosta a um filtro chaminé com uma inclinação de cerca de 1:0,35(v:h), e ao maciço de jusante constituído por enrocamento desejavelmente de blocos de arenito coerente a muito coerente, em parte resultante dos produtos da escavação prevista para a instalação do sangradouro e em parte da exploração da pedreira P 01. Considerando que o maciço de montante (solo fino com blocos) não assegura um grau de impermeabilidade satisfatório, idealizou-se um tapete impermeável, unido ao núcleo argiloso, com cerca de 2,4 m de espessura, subjacente a esse maciço em toda a sua extensão.

A Seção Tipo, no local de maior altura da barragem, é apresentada graficamente no Tomo 2-Desenhos.

### **c) Materiais construtivos naturais a serem empregados**

Para a execução do espaldar de montante serão utilizados os solos das jazidas J01, J02, J02 A, J03, J03 A, J04 e J04 A, admitindo-se a presença de blocos de rocha arenítica coerente de até 0,20m de diâmetro. A Jazida J05 funcionará como reserva e só deverá ser utilizada caso aconteça o esgotamento de todas as jazidas anteriores.

O núcleo central e o tapete interno impermeável de montante serão construídos com solos das jazidas J-08 e J-09, que atenderem as regulamentações das Especificações Técnicas.

O espaldar de jusante, constituído de enrocamento, serão realizados com as rochas areníticas provenientes das escavações obrigatórias e da exploração da pedreira P-01, selecionadas de forma que atendam completamente as regulamentações das Especificações Técnicas. A transição grossa deverá ser realizada com material pétreo da mesma origem que os do espaldar de jusante, porem com granulometria distinta.

A rocha britada de origem gnáissica, proveniente da Pedreira P 02, será utilizada para a realização da camada de transição fina e para agregado dos concretos previstos nas estruturas.

A areia extraída do leito do rio Jatobá, que atenda as imposições técnicas estabelecidas nas Especificações Técnicas, será empregada no sistema de filtros e drenos e como agregado miúdo dos concretos.

### **d) Espaldar de Montante**

O espaldar de montante, formado de solo com blocos de ate 0,20 m, compactados em camadas de até 0,40 m de espessura, foi concebido com um talude inclinado de 1:2,5 (V:H), desde o coroamento (na cota 540,00) até o nível referente a cota 515,00, prosseguindo entre as cotas 515,00 e 500,00 com inclinação de 1:3,0 (V:H) e da cota 500,00 ate a fundação com inclinação de 1:3,5 (V:H) . Este espaldar se limita na parte inferior com o tapete impermeável interno, sobreposto à fundação. Para jusante se limita com o talude do núcleo central argiloso e para montante com o sistema de proteção contra ondas (rip-rap).

### **e) Núcleo Central**

Como elemento de vedação do maciço da barragem, idealizou-se um núcleo central construído com material argiloso selecionado das jazidas J-08 e J-09 e em conformidade com as especificações técnicas previstas. O núcleo central tem o topo situado 0,30 m abaixo do coroamento da barragem, com o bordo montante situado na mesma vertical do bordo final da barragem e o bordo de jusante numa vertical que cruza o coroamento a 0,40 m do bordo jusante final da barragem. Desta forma o topo do núcleo possuirá uma largura de 8,60 m.

A partir do bordo montante do núcleo o talude se desenvolverá com uma inclinação de 1(V):0,25(H) e partir do bordo jusante com um talude de 1(V):0,35(H). Junto à fundação e no sentido de montante, o núcleo une-se de forma monolítica com o tapete impermeável interno. Na parte central o núcleo se aprofundará na fundação até atingir o estrato rochoso não removível com escarificação, formando um cut-off com largura de base de 6,0 m e taludes 1:2,0 (V:H).

A faixa granulométrica do solo compactado do núcleo foi obtida pelos máximos e mínimos dos resultados médios dos ensaios de granulometria por peneiramento e dos ensaios de granulometria por sedimentação realizados em amostras das jazidas J-08 e J-09, a qual é apresentada no **Quadro 5.1**.

**Quadro 5.1- Faixa Granulométrica do Solo do Núcleo**

#	(mm)	Faixa
2"	50,8	100
1"	25,4	100
3/8"	9,5	100
Nº4	4,8	96-100
Nº10	2,0	82-100
Nº40	0,42	68-91
Nº200	0,074	31-67

#### **f) Tapete impermeável interno**

Para assegurar um elevado grau de impermeabilidade na zona do espaldar de montante da barragem, proporcionando uma redução do gradiente hidráulico de saída dos fluxos infiltrados pela fundação, idealizou-se um tapete impermeável com cerca de 2,4 m de espessura, sobrejacente ao topo rochoso exposto pela escavação da fundação do maciço, unido ao núcleo argiloso e estendendo-se para montante até o rip-rap. Este tapete deverá ser executado com o mesmo material do núcleo central, ou seja, solos selecionados das jazidas J-08 e J-09.

#### **g) Espaldar de Jusante**

O maciço de enrocamento, que forma o espaldar de jusante da barragem, foi concebido com um talude contínuo com inclinação de 1: 2,0 (V:H), desde o coroamento (na cota 540,00) até o nível da fundação. Este maciço se limita na parte inferior com a transição grossa, que se

sobrepõe a transição fina e ao tapete drenante/filtrante da fundação. Para montante se limita com a transição grossa que repousa sobre o talude do núcleo central argiloso.

No talude do enrocamento, na altura da cota 515,00, será executada uma berma de 2,0 m de largura, em toda a extensão da barragem, com a finalidade de abrigar alguns instrumentos de auscultação geotécnica e permitir o acesso aos mesmos para inspeções e medições.

O material do enrocamento de jusante deve obedecer às indicações das Especificações Técnicas, cuja faixa granulométrica é apresentada no **Quadro 5.2** a seguir:

**Quadro 5.2 - Faixa Granulométrica do Enrocamento**

Diâmetro/ Peneira	D100 (mm)	D50 (mm)	Nº 200 (%)	Nº 10 (%)
Faixa	250-600	150-250	0-10	0-20

#### h) Filtro Vertical

Está prevista a execução de um filtro do tipo chaminé, com inclinação de 1: 0,35 (V:H) para jusante do núcleo central, como parte do sistema de drenagem interna, com 1,5 m de espessura de areia de rio até a cota 534,50 e daí até a base do revestimento do coroamento com 0,5 m. Previu-se o uso neste local do material a ser retirado na calha do rios Jatobá, que se enquadre nas Especificações Técnicas e cuja granulometria se encaixe na faixa especificada no **Quadro 5.3**.

**Quadro 5.3 - Faixa Granulométrica do Filtro Vertical**

Peneira	2"	1"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
Faixa em % passante	100	79-100	52-100	53-98	8-78	0-44	0-4

#### i) Tapete Drenante/filtrante

Para receber as águas do filtro vertical e da fundação está previsto a execução de um tapete drenante de areia, com altura de 1,5 m, em todo o contato do espaldar de jusante com a fundação tratada, exceto nos seus últimos 4,0 m. Este tapete deverá se estender por toda a

extensão da barragem. O material de sua confecção deverá se enquadrar na mesma faixa granulométrica do **Quadro 5.4** e obedecer às prescrições das Especificações Técnicas.

#### j) Transição Fina

Como parte do sistema de transição entre o filtro vertical e tapete drenante/drenante com o espaldar de enrocamento, previu-se uma camada de 0,50 m de espessura ou altura, constituída de agregado de rocha gnáissica britada com granulometria dentro da faixa discriminada no **Quadro 5.4** e que atenda as prescrições das Especificações Técnicas.

**Quadro 5.4 - Faixa Granulométrica de Transição Fina**

Peneira	2"	1"	3/8"	Nº4	Nº10
Faixa em % passante	100	55-100	0-59	0-33	0

#### k) Transição Grossa

Finalmente, concluindo o sistema de transição, foi prevista a execução de uma camada de transição grossa em contato com toda a superfície da transição fina e com o enrocamento do espaldar jusante, com espessura ou altura de 1,50 m. A transição grossa só não será realizada acima da cota 535,00. A prancha de Seção Tipo, apresentada no Tomo 2-Desenhos detalha a geometria desta transição.

O material que constituirá a transição grossa deve obedecer às prescrições das Especificações Técnicas e enquadrar-se na faixa granulométrica apontada no **Quadro 5.5**.

**Quadro 5.5 - Faixa Granulométrica de Transição Grossa**

Peneira	Dmax.	D50	Dmin.
Faixa (mm)	80-200	30-100	10-30

### **l) Proteção do talude montante (rip-rap)**

Com a finalidade de proteger o talude do espaldar de montante contra a ação erosiva das ondas do futuro reservatório, concebeu-se uma proteção de enrocamento (rip rap) de rocha arenítica proveniente das escavações obrigatórias, espalhada por toda a superfície do referido talude. O rip rap consiste de uma camada de 0,70 m de espessura, formada de blocos com diâmetro máximo de 0,60 m e diâmetro 50% de 0,40 m, sobreposta a uma camada de transição fina (brita gnáissica) de 0,30 m de espessura, que por sua vez repousa sobre uma camada de 0,30 m de areia do rio Jatobá, esta ultima colocada em contato direto com o talude de solo.

### **m) Revestimento do Coroamento**

O coroamento da barragem, em toda a sua extensão e largura, será revestido com uma espessura de 0,30 m de material de “finos de pedreira” (pó de pedra misturado com fragmentos rochosos obtidos nas escavações rochosas). Este material deverá ser umidificado e compactado de forma a propiciar uma superfície lisa e regular que suporte as cargas dos veículos de manutenção, sem deformações, afundamentos ou desagregações.

## **5.6. Instrumentação**

O projeto de instrumentação foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

- Verificar as pressões neutras nas fundações da barragem;
- Verificação dos deslocamentos da barragem;
- Verificação das deformações verticais pós construção
- Verificação do nível d'água no estrato rochoso da região das ombreiras;
- Verificação do nível d'água no reservatório.
- Verificação de Vazão percolante pela fundação e maciço

Inclui-se no sistema de monitorização da barragem, instrumentos que permitam a observação do comportamento hidráulico da sua fundação, na sequência do tratamento que vai ser executado. Com esse objetivo foram considerados piezômetros hidráulicos e medidores de vazão, que deverão ser integrados no Plano de Auscultação de toda a obra.

Em relação aos piezômetros de monitoramento do tratamento da fundação, eles ficarão colocados no maciço rochoso de fundação e no interior do núcleo.

Preconiza-se a realização de um furo situado a montante da cortina de contenção, com um piezômetro no maciço rochoso, aproximadamente a 10,0 m abaixo topo do plinto e outro no

núcleo central, situado próximo do terço superior da coluna d'água prevista na seção. Um segundo furo da seção instrumentada situa-se a jusante da cortina, com um piezômetro no maciço rochoso, aproximadamente a 5,0 m abaixo do topo do plinto e outro no núcleo central, situado próximo do terço inferior da coluna d'água prevista na seção. Estes dois furos serão realizados após a conclusão do aterro da barragem, nos bordos do coroamento.

Um terceiro e último furo na seção deverá ser realizado na berma do talude jusante, a partir da cota 515,00, onde se prevê um piezômetro a 10,0 m abaixo do topo fundação rochosa e outro a 2,0 m abaixo desse mesmo topo. Para a instalação destes piezômetros, sob o maciço estabilizador de enrocamento, deverá ser colocada a tubagem de revestimento antes da colocação do enrocamento, dada a dificuldade de executar os furos através dos blocos desse maciço.

Considerando a extensão da barragem, a sua altura e a natureza do maciço de fundação, considerou-se a necessidade do Plano de Auscultação contemplar a instrumentação de 12 seções transversais, localizadas uma na calha do rio, cinco na ombreira esquerda, e seis na ombreira direita. Na ombreira direita uma seção contempla a zona afetada pela intrusão do dique diabásico.

Portanto, as seções instrumentadas com piezômetros foram as das estacas 9+10,00; 12; 14; 18; 24; 28; 32; 36; 40; 44; 50 e 54.

A verificação do deslocamento superficial da barragem será feito colocando marcos superficiais, referenciados a bench marks, para medidas de deslocamento vertical após a fase construtiva. Os marcos de superfície serão colocados no coroamento da barragem e totalizam 24 unidades. A posição da cada marco pode ser visualizado em planta nas pranchas do Tomo 2- Desenhos.

Para a medição dos deslocamentos horizontais do maciço e conseqüentemente para a avaliação da estabilidade dos taludes da barragem, considerou-se necessária a instalação de inclinômetros verticais em 3 seções, sendo 2 instrumentos por seção. Uma seção é na estaca 12+10,00 onde ocorre a intrusão do dique diabásico, outra é a seção 32+10,00 na zona de maior altura do aterro e a última, na ombreira esquerda, corresponde a estaca 52+10,00 que se encontra na vizinhança do conduto da tomada d'água. Os inclinômetros serão implantados após a construção do aterro, junto aos bordos montante e jusante do coroamento

Para a verificação de eventual percolação pelos extratos areníticos nas esbeltas ombreiras foram indicados 03 medidores de nível d'água, em cada uma, sendo na ombreira esquerda um localizado acima da última estaca da barragem e os outros 2 posicionados

imediatamente a jusante da barragem. Na ombreira direita os 3 estarão situados a jusante da barragem.

A verificação do nível do reservatório será feita colocando-se réguas linimétricas em um dos pilares da torre da tomada d'água, de forma a ser visível a partir do coroamento da barragem.

Em relação aos medidores de vazão, serão construídos três instrumentos colocados à saída dos drenos, um no fundo da calha do rio Inhuçu, que deverá coletar as surgências da ombreira direita e na zona do leito do rio, e dois outros na ombreira esquerda. Na localização dos medidores de vazão se considerou que o caudal interceptado pelo sistema interno de drenagem escoará a jusante do pé da barragem, junto ao talude jusante da escavação da fundação, no sentido ombreiras- leito do rio. Para evitar que este fluxo ficasse retido na zona de escavação da intrusão do dique diabásico, foi prevista a escavação de parte do estrato rochoso arenítico à esquerda desta intrusão.

## **5.7. Sangradouro**

### **5.7.1 Canal de Aproximação**

Concebeu-se o sistema de sangria composto de um canal de aproximação, um muro em perfil Creager, um primeiro trecho em rápido que descarrega em uma primeira bacia de dissipação, um segundo trecho em rápido, descarregando numa segunda bacia de dissipação e um trecho plano que desagua no leito do rio Inhuçu.

O Canal de aproximação tem uma largura de 80 m e extensão pelo eixo central de aproximadamente 123 m. Este canal teve seu eixo estaqueado com o ponto de partida (estaca M0) situado no eixo do muro Creager e crescente no sentido de montante. Em planta ele apresenta um trecho retilíneo desde a estaca M0 até M1+6,52, quando se inicia uma curva com raio 206,59 m e 116,79 m de desenvolvimento. No entanto, pelo eixo a cota da soleira do canal é alcançada na estaca 6+3,00. Todo o fundo do canal de aproximação foi previsto na cota 532,00, sendo revestido por uma laje de concreto no trecho que vai do muro Creager até a estaca M5+10.

O canal de aproximação, por suas baixas velocidades e a formação de um lago de cerca de 3 metros de profundidade, foi revestimento em um trecho parcial para aumentar o caminhamento de possíveis percolações pela fundação e, portanto, diminuir os gradientes hidráulicos sob o muro Creager.

A laje do canal de aproximação foi dimensionada em concreto armado com  $F_{ck} = 30\text{Mpa}$ , com uma espessura de 0,40 m, dotada de juntas longitudinais porém, não chumbada e sem dispositivo de drenagem.

Esta laje limita a extensão dos muros laterais de montante (tipo AA). O muro do lado esquerdo contém o maciço da barragem e segue para montante, totalizando uma extensão a partir do Creager de 94,13 m, o muro do lado direito protege o corte no terreno natural e tem uma extensão de 126,19 m, a partir do muro Creager.

Na extremidade montante da laje previu-se um redente de concreto simples, solidarizado à laje, com espessura de 0,50 m e aprofundando-se no substrato rochoso 1,50 m, a partir da base da mesma.

Os muros laterais que limitam o canal de aproximação são estruturas de concreto armado ( $F_{ck}=30\text{MPa}$ ), com seção transversal semelhante a um T invertido, com altura variável em função da lamina de escoamento, calculada para uma recorrência de 1.000 anos, e da contenção do maciço da barragem. Os muros deste canal abrangem 2 tipos distintos, denominados de AA e BB.

### **5.7.2 Muro de vertimento do Sangradouro**

O muro do sangradouro tem um perfil do tipo Creager, com ogiva na cota 535,00 e extensão total de 80,00 m. O muro esta previsto com fundação na cota 531,50, em rocha. O Creager estará ladeado de muros que pelo lado esquerdo contem o maciço da barragem e pelo lado direito o corte no terreno natural.

De forma geral, a seção do muro Creager constitui-se de um núcleo construído com concreto ciclópico, revestido com concreto simples de  $F_{ck}= 30\text{ Mpa}$ , numa espessura típica de 0,50 m. O desenho apresentado no Tomo 2 detalha a seção deste muro.

No contado com os muros laterais serão construídas juntas de dilatação vedadas com juntas Fugenband do tipo O-22, assim como ao longo do corpo do Creager, estas ultimas com espaçamento de 10,0 m. As juntas centrais estarão alinhadas com as juntas da laje dos canais e as estas se conectarão pela parte de jusante (pé do Creager). As juntas no contato com os muros laterais serão engastadas na sapata dos muros e, portanto não prosseguirão para jusante. Pela face montante do Creager todas elas se prolongarão ate o contato com a fundação.

No contato do muro Creager com as lajes dos canais de aproximação e restituição serão construídas juntas Fugenband, cujas extremidades serão engastadas nas sapatas dos muros laterais.

### **5.7.3 Canal de restituição**

A partir do pé o muro Creager desenvolve-se um trecho em canal plano (cota 532,00) revestido por uma laje de concreto de 0,40 m de espessura, até a estaca J01. Em seguida a

este trecho plano inicia-se o primeiro rápido, revestido com uma laje de concreto de 0,40 m de espessura, com uma declividade de 11,48 %, por uma extensão correspondente a estaca J13. A partir desta estaca inicia-se a primeira bacia de dissipação de energia.

A primeira bacia compõe-se de um trecho plano (cota 505,00) com uma extensão 50 m (correspondendo a estaca 15+10,00), seguido de uma rampa ascendente de 5% numa extensão de 40 m, que termina num trecho plano de 50 m de extensão (correspondente a estaca J20).

A partir deste ultimo trecho plano (estaca J20 e cota 507,00) inicia-se o segundo rápido, com uma declividade de 10,68% e numa extensão correspondendo a estaca J31, onde se conecta a segunda bacia de dissipação, na cota 484,00. Esta segunda bacia compõe-se de um trecho plano de 50 m (correspondendo a estaca J33+10), seguido de uma rampa ascende de 5% por uma extensão de 40 m (estaca J35+10,00) e que termina num trecho plano de cerca de 40 m (estaca 37+9,98 e cota 486,00). Após este trecho plano segue um trecho de enrocamento de Dmédio de 0,50 m, que protege o fundo do rio e as margens esquerda e direita da ação do caudal de sangria.

Do perfil Creager até o início do enrocamento, o canal de restituição do sangradouro é revestido por laje de concreto armado, dotada de um sistema de ancoragem passiva (chumbadores), drenagem no contato com a fundação e confinado por muros laterais de concreto armado, de altura variável e compatível com a altura da lamina de escoamento definida nos cálculos hidráulicos.

A necessidade de revestimento da fundação do canal do sangradouro foi evidenciada através das sondagens realizadas na área do sangradouro, que evidenciaram a presença de intercalações de argilitos pouco coerente e pouco resistente no seio do maciço de rocha arenítica. Este material não apresenta características físicas de resistência a erosão provocada por laminas d'água com velocidade, mesmo baixa. Por esta razão houve, por motivo de segurança do sistema, a decisão de revestir o canal de restituição do sangradouro.

Nos dois rápidos (J01-J13 e J20-J31) e no trecho plano que parte do pé do muro Creager, a laje de revestimento foi dimensionada com uma espessura de 0,40 m, com chumbadores de ferro redondo de 32 mm, com um comprimento de 6,0 m e num espaçamento de 2,5 por 2,5 m.

As demais lajes que compõem o sistema das bacias de dissipação (J13-J20 e J31-J37+9,98) foram dimensionadas com uma espessura de 0,50 m, com chumbadores semelhantes porem, com comprimento de 12,0 m.

Os muros laterais que limitam o canal de restituição são estruturas de concreto armado ( $F_{ck}=30\text{MPa}$ ), com seção transversal semelhante a um T invertido, com altura variável em função da lamina de escoamento, calculada para uma recorrência de 1.000 anos, e que abrangem 7 tipos distintos, denominados de BB,CC,DD,EE,FF,GG e HH.

#### **5.7.4 Juntas de dilatação**

Na laje dos canais de aproximação e restituição serão construídas juntas longitudinais em toda a extensão destes, sendo as extremas no contato das sapatas dos muros laterais com as lajes e as demais, na região central das lajes, num espaçamento de 10 m. Juntas transversais serão implantadas no contato da laje montante com a face do Creager, no contato da laje de jusante com o pé do Creager, nos pontos da laje jusante onde ocorrem mudanças de inclinação e ao longo dos rápidos.

As juntas longitudinais totalizam 9 unidades enquanto as transversais são 12 unidades.

Nos muros laterais ao sangradouro serão realizadas juntas que se desenvolverão verticalmente pela face e horizontalmente pela sapata, localizadas nos pontos de encontro de tipos distintos de muros e em espaçamento regulares de 20 m (predominantemente coincidente com o estaqueamento inteiro).

As juntas do concreto serão vedadas com juntas termoplásticas de PVC de 22 cm de largura, do tipo Fugenband O-22.

#### **5.7.5 Sistema de drenagem**

Abaixo da laje de revestimentos do canal de restituição, próximos das juntas longitudinais serão construídos drenos que objetivam coletar fluxos d'água e combater a subpressão que estes fluxos exerceriam na laje. Os drenos são do tipo espinha de peixe, cujas linhas principais correm paralelas as juntas longitudinais (ou seja espaçadas de 10 m), recebendo, cada principal, linhas secundárias que formam um ângulo de chegada de 45%, apontadas para a direção do fluxo. Estas linhas secundárias chegam às linhas principais num intervalo típico de 20 m.

A seção de dreno, escavada na fundação, tem 0,50 m de altura por 0,50 m de largura, e é preenchida por material britado sem finos e envolvida externamente por um geotêxtil, tipo Bidin OP-40. Internamente à camada de brita transcorre um tubo de dreno PEAD de 150 mm de diâmetro, do tipo Kanonet.

Os drenos que transcorrem pelo primeiro rápido e primeira bacia de dissipação descarregarão em um primeiro dreno coletor situado na estaca J14+5,00. Este dreno coletor consiste numa seção de largura de 1,00 m e altura mínima de 0,60 m, preenchida

de material britado sem finos e envolvida externamente por uma manta de geotêxtil. Internamente este coletor tem 2 tubos drenantes de 200 mm, que caem 0,5%, a partir do ponto central da laje, para cada lado (no sentido dos muros laterais) até se unir as caixas coletoras de concreto, de seção externas de 1,30 x 1,00, situadas junto a parte externa das sapatas dos muros laterais. A partir de cada caixa coletora transcorre um condutor formado de tubo de concreto de 400 mm, cuja declividade segue a mesma dos rápidos e, nos trechos planos ou com inclinação contrária, com o mínimo de 0,5%. Este condutor terá caixas de passagem nos locais de mudanças de declividade, com projeto semelhante as caixas coletoras.

Os drenos espinha de peixe que partem do segundo rápido e da segunda bacia de dissipação descarregarão no segundo dreno coletor, situado na estaca 32+5,00. Este segundo dreno coletor se assemelha ao primeiro em tipo, seção, caimentos e união com as caixas coletoras. Dessas caixas coletoras prosseguirão o condutor de 400 mm ate a descarga na zona do leito do rio.

#### **5.7.6 Escavação do Sangradouro**

Importante salientar que para assegurar a preservação das condições de fraturamento atuais do maciço rochoso do sangradouro e da fundação do maciço da barragem, programou-se que será utilizada a técnica de desmonte de rocha com fogo controlado nas regiões laterais da escavação dos canais de aproximação e restituição, numa largura de fundo de 10 m para cada lateral. O mesmo tipo de fogo deve ser utilizado para a escavação de toda a rede de drenagem projetada.

A região central, de 60 m de largura, deverá ser escavada com fogo de avanço, porem utilizando-se de planos de fogo que preservem o maciço rochoso remanescente.

#### **5.7.7 Aterros no Sangradouro**

Para a descarga do caudal de sangria no leito do rio Inhuçu, foi previsto um aterro de enrocamento com blocos de rocha arenítica, com diâmetro médio de 0,50 m, na cota 486,00 no trecho entre as estaca J37+9,98 e J39, em seguida com um talude de 1,5:1,0 (H:V) ate a cota 484,00, quando formará um plano de 40 metros nesta cota. A partir do limite desse plano de 40 m se revestirá toda a margem esquerda do rio com um a espessura de 1,0 m deste mesmo enrocamento.

Em algumas regiões do lado esquerdo do canal de restituição, a laje do revestimento estará situada acima do topo rochoso, demandando um aterro para a sustentação da laje e do muro de contenção esquerdo. Este aterro deverá ser executado com concreto ciclópico,

conforme é apresentado nas seções apresentadas nos desenhos do sangradouro, constantes do Tomo 2- Desenhos.

### 5.8. Tomada D'água

A tomada d'água será implantada na estaca 53+0,00. Ela consistirá de um tubo de aço ASTM-36 com diâmetro de  $\phi=800$  mm. A tubulação será envolvida por uma estrutura de concreto armado, com altura de 2,00 m e base de 2,20 m, numa extensão de 162 m, formando o que se denominou de galeria da tomada d'água. A montante da galeria a tubulação se apoia no bloco de sustentação da torre de controle das comportas e a jusante adentra na caixa de acesso aos equipamentos de manutenção e controle e em seguida no bloco da casa de controle das válvulas. O eixo da galeria ficará na cota 508,00 m. O dimensionamento foi feito de forma que na cota 510,0 m, nível do volume de alerta, a galeria retire uma vazão de  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A barragem na cota do volume de alerta estará acumulando um volume de  $50,74 \text{ hm}^3$ , correspondente a 14,6%.

O comando será feito por jusante onde haverá uma válvula dispersora de diâmetro de 600 mm, acionada eletricamente através da casa de válvula, situada em um nível acima desta. Imediatamente a montante da casa de válvulas haverá uma caixa de acesso a equipamentos de manutenção e operação, consistindo de uma válvula borboleta de  $\phi=800$  mm, uma junta de desmontagem tipo DRESSER e um dreno da tubulação.

No limite montante da galeria haverá uma entrada por uma grade e uma redução gradual concêntrica com variação em curva parabólica, dimensionado pelos prescritos do "Bureau of Reclamation" contidos no livro "Design of Small Dams". Para fechar a boca de montante está previsto uma comporta de aço By Pass que será operada por uma viga pescadora eletromecânica a partir de uma casa de comando, situada no ápice da torre de comando.

Esta torre de comando será acessada através do lago por meio de barça. A torre possui um sistema de escadas de concreto que permite o acesso desde a base até a casa de comando.

Para combater a pulsação e cavitação após a entrada na tubulação foi dimensionado um tubo de aeração de  $\phi=150$  mm de aço ASTM A-36.

Previu-se um canal de aproximação escavado na cota 506,60, com seção trapezoidal de 6,0 m de largura de base e taludes 1(v):1(h), em uma extensão próxima de 50,5 m e dotado de uma curva a direita na sua estaca inicial.

Para a restituição do fluxo da tomada d'água à porção jusante do rio, idealizou-se um canal inicial com largura de 20,0 m e extensão de 10,0 m, que transaciona para uma seção de 6,0 m de largura, que se desenvolve por mais 526 m até desaguar no canal da descarga de fundo. Todo o canal de restituição deverá ser enrocado no fundo e em parte dos taludes, numa espessura de 40 cm. O canal em perfil terá rampas variáveis adaptando-se as condições topográficas do terreno e, em planta, duas curvas horizontais para a direita.

A tomada d'água é detalhada nas pranchas apresentadas no Tomo 2- Desenhos.

### **5.9. Descarga de Fundo**

Com a finalidade de promover o esvaziamento rápido do reservatório em caráter emergencial, realizar limpeza dos sedimentos acumulados junto ao maciço da barragem e para a renovação das águas mais profundas, que tendem a apresentar maiores concentrações salinas, concebeu-se o projeto de uma estrutura de descarga de fundo.

Esta estrutura, posicionada ortogonalmente a estaca 34+0,00, constitui-se basicamente em duas células de concreto que abrigam um tubo de 1800 mm em cada, com controle de entrada por comportas do tipo “stop log”, acionadas a partir de uma casa de comando situada no topo de uma torre de concreto armado, e controle de operação a jusante através de 04 válvulas dispersoras do tipo “Howell Bungler” de 1000 mm, cada.

O sistema de controle das comportas constitui-se de duas comportas “stop log” de 2,65 x 2,65 m, acionadas por uma viga pescadora que se desloca em um perfil metálico, situada na casa de comando. A casa de comando tem o piso na cota 540,00 m e é apoiada por uma estrutura composta de 18 níveis de vigas, a cada 3,0 m de altura, e quatro pilares, fundados em um bloco de concreto de 6,80 x 12,02 m, que por sua vez esta assente diretamente no substrato rochoso.

A casa de comando das comportas é acessada por lances de escada de concreto posicionados no lado Sudoeste da torre. Para se alcançar estas escadas esta previsto o uso de barcaças (quando necessário o transporte de equipamentos) ou de botes e barcos (quando só transporte de operadores)

A partir do bloco desenvolvem-se para jusante duas linhas de tubos de aço de 1800 mm, com centro na cota 585,40 m, que adentram as células de concreto armado da galeria, que permitem a inspeção e manutenção direta dos tubos. Junto a boca de entrada dos tubos, a galeria é bloqueada por um tamponamento de concreto armado com espessura mínima de 1,90 m.

O conjunto da galeria, que abrigam as duas células, tem laje superior e piso em concreto armado com espessura de 0,80 m, cada. Internamente as paredes externas da galeria são verticais e externamente com inclinação 10:1 (V:H), iniciando-se no topo com 0,80 m de largura e chegando a base com 1,31 m. A parede interna que divide as 2 células tem 0,40 m de largura.

Esta galeria, a partir do bloco de fundação da torre de comando das comportas, tem uma extensão de 300 m e termina na caixa de acesso aos registros e dreno situados na zona jusante do maciço. Após esta caixa de acesso cada tubo apresenta uma derivação e reduções que, atravessando um robusto bloco de concreto ciclópico, terminam em duas válvulas dispersoras de 1.000 mm. As quatro válvulas dispersoras são acionadas eletricamente a partir de uma casa de comando, encimada sobre o bloco de concreto, com piso na cota 488,10. A casa de comando das válvulas tem acesso ao coroamento da barragem por uma escada de concreto ladeada por guarda corpo de tubo galvanizado.

Com o nível do reservatório na sua cota máxima de operação normal (535,00) e as quatro válvulas dispersoras totalmente abertas, o esvaziamento total do reservatório, até o nível do volume morte- cota 508,00, se daria em cerca de 72 dias.

No quadro seguinte apresenta-se o tempo em dias para o rebaixamento do reservatório a partir do nível máximo de operação normal.

<b>Cota a ser alcançada</b>	<b>Altura do rebaixamento (m)</b>	<b>Tempo para rebaixamento (dias)</b>
535,00	0,00	0
530,00	5,00	20
525,00	10,00	36
520,00	15,00	49
515,00	20,00	60
510,00	25,00	69
508,00	27,00	72

O arranjo do sistema de descarga d'água, seus elementos constituintes e detalhes dos aspectos das obras civis e dos equipamentos hidromecânicos são apresentados no Tomo 2-Desenhos.

## **5.10. Etapas Construtivas**

### **5.10.1. Generalidades**

O Rio Inhuçu situado na Serra da Ibiapaba, numa das zonas mais úmidas do Ceará, corre o ano inteiro, sendo que nos períodos de estiagem, de julho a dezembro, com vazão muito pequena o que permite, normalmente, que se atravesse seu leito a pé com água abaixo da altura do joelho humano. Tirando partido dessa situação e considerando a topografia do sítio das obras, a situação das áreas de ocorrências de material e o fato do eixo ser interceptado por uma calha única do rio, foi desenvolvido os procedimentos executivos da obra que são descritos a seguir.

### **5.10.2. Período de Execução**

A obra foi contratada para ser executada em 36 meses, ou seja, três anos, portanto, três períodos de cheia e três períodos secos.

O início das obras foi admitido como sendo realizado para o começo de uma estação chuvosa (Janeiro do ano 1).

### **5.10.3. Descrição da Metodologia de Execução**

A logística montada para a execução da obra foi apoiada em dois fatores primordiais que são o conhecimento do projeto e prazo da obra que é de 36 meses. Na região tem-se o período chuvoso que vai de janeiro a junho e o período de estiagem vai de julho a dezembro. Desta forma, a obra será desenvolvida em seis períodos sendo três de chuvas e três de estiagem. Para a definição das cotas das ensecadeiras que serão edificadas no período seco tomou-se como referencia as cotas e vazões registradas na estação fluviométrica instalada em Croatá. Nas estações chuvosas foi admitido o rio correndo livremente pela calha atual e regiões lindeiras, de forma a corresponder a uma largura inundável de 120 metros.

#### **Primeiro Período - FASE 1**

A obra está prevista para iniciar em Janeiro/Ano 01 que coincide com o início de uma estação de chuvas.

Portanto o primeiro período vai de Janeiro/Ano 01 a Junho/Ano 01. Neste período será instalado o canteiro de obras e feita a mobilização dos equipamentos e mão de obra.

Os serviços acontecerão nas duas ombreiras. Na ombreira direita será feito as escavações da fundação conforme pode ser visto no desenho BL-PE- 03 – 01/07. Devem ser escavados cerca de 489.951 m<sup>3</sup> de material de 1<sup>a</sup> categoria, 7.794m<sup>3</sup> de material de 2<sup>a</sup> categoria e 33.090 m<sup>3</sup> de material de 3<sup>a</sup> categoria com fogo controlado. Os serviços nessa ombreira serão executados entre as estacas 10 e 29+00.

Na ombreira esquerda os serviços consistirão na escavação da fundação entre as estacas 35+00 e 49+00, nesses serviços está previsto a escavação de 205.901 m<sup>3</sup> de material de 1<sup>a</sup> categoria, 7.315 m<sup>3</sup> de material de 2<sup>a</sup> categoria.

Após a escavação e limpeza da fundação, esta previsto a execução do tratamento de fundação nas ombreiras.

Deve-se dar início a escavação do sangradouro, realizando-se toda a escavação de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> categoria e iniciando-se as escavações com fogo a partir das extremidades dos canais, sendo escavado no período cerca de 20% de material.

Ainda nessa fase deve ser iniciado a produção e estocagem de materiais para britagem e desmonte de rocha para execução das zonas de transição e enrocamentos.

### **Segundo Período - FASE 2**

O segundo período da obra que vai de Julho/Ano 01 a Dezembro/Ano 01 tem-se uma fase de estiagem nele deverão ser iniciados e concluídos os seguintes serviços:

Prosseguimento da escavação das ombreiras, sendo na ombreira esquerda entre estacas 1+14,87 e 10+00, envolvendo escavações de 51.912 m<sup>3</sup> de material de 1<sup>a</sup> e 6.057 m<sup>3</sup> de material de 2<sup>a</sup> categoria, e entre estacas 49+00 e 60+6,57, envolvendo escavações de 90.629 m<sup>3</sup> de material de 1<sup>a</sup> e 3.783 m<sup>3</sup> de material de 2<sup>a</sup> categoria.

Deverá ser dado início a execução dos serviços de terraplenagem nas ombreiras. Em cada ombreira, deverá ser elevada até aproximadamente a cota 500,00, equivalente a 26% de execução do maciço total.

Será construída uma ensecadeira em torno do local destinado a execução da descarga de fundo. A mesma deverá estar na cota 488, conforme pode ser visto no desenho BL-PE- 03 – 02/07. Durante a execução da ensecadeira, é prevista a escavação de um canal na margem direita do rio, na cota 484,00 como sistema de desvio.

Após a construção da ensecadeira, deve ser dado início a execução da descarga de fundo, estando prevista para este período a conclusão dos serviços de concreto na galeria. Também poderá ser executado a torre, concluindo-se cerca de 50% da obra.

É dado continuidade nos trabalhos no sangradouro nos serviços de escavação com fogo controlado e de avanço.

Os serviços que serão executados na fase 2 poderão ser vistos no desenho BL-PE- 03 – 02 – 07.

### **Terceiro Período - FASE 3**

A fase 3 vai de Janeiro/Ano 02 a Junho/Ano 02 (período chuvoso) e nela serão executados os seguintes serviços:

- Continuarão os serviços de execução do maciço da barragem, executando-o até a cota 506.
- Conclusão da torre da descarga de fundo.
- Após a conclusão da torre da descarga, deverá ser desinstalada a ensecadeira construída no entorno da estrutura.
- Continuação dos serviços de escavação do sangradouro.
- Início dos serviços na tomada d'água, concluindo a construção da galeria.

### **Quarto Período - FASE 4**

A fase 4 vai de Julho/Ano 02 a Dezembro/Ano 02. Essa fase é o segundo período seco de construção da obra. Nesta etapa serão executados os seguintes serviços:

- Continuidade dos serviços de terraplenagem nas ombreiras, até a cota 522,00 (cota de segurança)
- Conclusão dos serviços na tomada d'água,
- Conclusão da escavação do sangradouro e início dos serviços de concreto.

### **Quinto Período - FASE 5**

A fase 5 vai de Janeiro/Ano 03 a Junho/Ano 03 é o penúltimo período do contrato e coincide com uma estação de chuva.

- Nessa fase serão executados trabalhos nas ombreiras, até a cota 530,00.
- Continuidade das obras de concreto no sangradouro, estimando o alcance de 70% da obra.
- Ao final deste período, esta previsto a execução de um desvio do rio para a descarga de fundo através da construção de duas ensecadeiras, uma na ombreira esquerda e a principal barrando o rio. As ensecadeiras devem ficar na cota 488,00.

- Após o desvio do rio, deve ser iniciado os serviços de escavação e tratamento da fundação no leito do rio, entre as estacas 29 e 35.

### **Sexto Período – FASE 6**

A fase 6 vai de Julho/Ano 02 a Dezembro/Ano 02 e é a fase final do contrato. Nessa fase serão executados os seguintes serviços:

- Desinstalação das ensecadeiras existentes.
- Fechamento do rio até a cota 530,00.
- Conclusão dos serviços de terraplenagem da barragem até a cota de coroamento (cota 540,00).
- Conclusão dos serviços no sangradouro.
- Acabamento final e entrega da obra.

Os serviços a serem executados na fase 6 podem ser vistos nos desenhos BL-PE- 03 – 06/07.

## 6. CRONOGRAMA FÍSICO

---

## 6. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Lontras e com as características climáticas da Região, um prazo de 36 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a sequência de execução dos serviços a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.

Na **figura 6.1** apresenta-se o Cronograma Físico baseado nas etapas construtivas concebidas no projeto.

## Figura 6.1 - Cronograma Físico

## 7. RESUMO DOS INVESTIMENTOS

---

## 7. RESUMO DOS INVESTIMENTOS

A Barragem Lontras envolverá a aplicação de **R\$ 358.177.111,08** (Trezentos e cinquenta e oito milhões, cento e setenta e sete mil, cento e onze reais e oito centavos), conforme mostram os custos resumidos a seguir.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	PREÇO TOTAL (R\$)
1.0	SERVIÇOS PRELIMINARES	33.460.793,36
2.0	REDE VIÁRIA INTERNA	6.629.118,29
3.0	SERVIÇOS DE DESCARGA DE FUNDO E DESVIO DO RIO	22.044.703,12
4.0	BARRAGEM MISTA	205.564.631,72
5.0	INSTRUMENTAÇÃO	1.343.446,06
6.0	SANGRA DOURO	80.975.725,14
7.0	TOMADA D'ÁGUA	2.174.989,76
8.0	INSTALAÇÃO ELÉTRICA	242.471,31
9.0	AGROVILA	5.741.232,32
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>358.177.111,08</b>



consórcio