



SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

SUBPROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE  
RECURSOS HÍDRICOS PARA O SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO  
**PROÁGUA/SEMI-ÁRIDO**

ESTUDOS DE ALTERNATIVAS,  
AVALIAÇÃO AMBIENTAL,  
ESTUDOS BÁSICOS,  
VIABILIDADE TÉCNICA, FINANCEIRA E  
ECONÔMICA, DETALHAMENTO DO  
PROJETO BÁSICO,  
LEVANTAMENTO CADASTRAL,  
PLANO DE REASSENTAMENTO,  
EIA-RIMA,  
PLANO DE OPERAÇÃO E  
MANUTENÇÃO E  
AVALIAÇÃO FINANCEIRA E ECONÔMICA  
REFERENTES À BARRAGEM FIGUEIREDO,  
SITUADA NA BACIA DO  
RIO JAGUARIBE,  
NO ESTADO DO CEARÁ



## BARRAGEM FIGUEIREDO

CONTRATO Nº 007/PROÁGUA/SRH/CE/2001

ETAPA B - DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO

FASE VIII - PLANOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

VOLUME I - MANUAL DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

JUNHO 2003



**COBA**



**VBA**  
CONSULTORES



SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

SUBPROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE  
RECURSOS HÍDRICOS PARA O SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO  
**PROÁGUA/SEMI-ÁRIDO**

ESTUDOS DE ALTERNATIVAS,  
AVALIAÇÃO AMBIENTAL,  
ESTUDOS BÁSICOS,  
VIABILIDADE TÉCNICA, FINANCEIRA E  
ECONÔMICA, DETALHAMENTO DO  
PROJETO BÁSICO,  
LEVANTAMENTO CADASTRAL,  
PLANO DE REASSENTAMENTO,  
EIA-RIMA,  
PLANO DE OPERAÇÃO E  
MANUTENÇÃO E  
AVALIAÇÃO FINANCEIRA E ECONÔMICA  
REFERENTES À BARRAGEM FIGUEIREDO,  
SITUADA NA BACIA DO  
RIO JAGUARIBE,  
NO ESTADO DO CEARÁ



## BARRAGEM FIGUEIREDO

CONTRATO Nº 007/PROÁGUA/SRH/CE/2001

ETAPA B - DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO

FASE VIII - PLANOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

VOLUME I - MANUAL DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

JUNHO 2003



**COBA**



**VBA**  
CONSULTORES

**CONTRATO Nº 007/PROÁGUA/SRH/CE/2001****EQUIPE DE ELABORAÇÃO**

<b>CONSÓRCIO COBA/VBA</b>	<b>ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO DA SRH</b>
Jorge Vazquez Gonzalez Engº. Civil Coordenador dos Estudos pela COBA	Lucrécia Nogueira de Sousa Geóloga Presidente da Comissão
Joaquim Francisco Sousa Neto Engº. Civil Coordenador dos Estudos pela VBA	Ivoneide Ferreira Damasceno Engª. Civil Membro da Comissão
Ricardo Matos Oliveira Geólogo Consultor da Equipe Técnica pela COBA	Maria Alice Guedes Geóloga Membro da Comissão
Ednardo Fernandes Cardoso Engº. Civil Membro da Equipe Técnica pela VBA	Francisco José de Sousa Engº. Agrônomo Membro da Comissão
Maria de Lurdes Pimenta Engª. Civil Membro da Equipe Técnica pela COBA	Maria Elaine Bianchi Geógrafa Membro da Comissão
Samuel Antônio Silva Dias Engº. Civil Membro da Equipe Técnica pela VBA	Francisco Dário Silva Feitosa Dário Engº. Agrônomo Membro da Comissão
Joana Rodrigues Carreto Engª. Civil Membro da Equipe Técnica pela COBA	Nelson L. de S. Pinto Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Luiz Fernando Menescal Engº. Civil Membro da Equipe Técnica pela VBA	Paulo Teixeira da Cruz Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Vicente Clérigo Rodrigues Engº. Civil Membro da Equipe Técnica pela COBA	Roneí Viera de Carvalho Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Benedito Lopes Santiago Geólogo Membro da Equipe Técnica pela VBA	
Naimar G. Barroso Severiano Esp. Meio Ambiente Consultora em Meio Ambiente	
José Valdeci Biserra Economista Consultor em Estudos Econômicos/Financeiros	
Elianeiva de Queiroz Viana Odísio Engª. Agrônoma Consultora em Desapropriação e Reassentamento	

## LISTA DE VOLUMES DA EDIÇÃO FINAL

### ETAPA A - ESTUDOS DE VIABILIDADE

- Fase I - Estudos de Alternativas para Localização da Barragem
  - Volume I - Relatório de Opções para Localização do Eixo Barrável
- Fase II - Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA
  - Volume I - Diagnóstico Ambiental
- Fase III - Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto
  - Volume I - Estudos Hidrológicos
  - Volume II - Relatório dos Estudos Cartográficos
  - Volume III - Relatório dos Estudos Topográficos
  - Volume IV - Relatório dos Estudos Geológico-Geotécnicos
- Fase IV - Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Financeira do Projeto
  - Volume I - Relatório de Avaliação Técnica, Econômica e Financeira do Projeto

### ETAPA B - DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO

- Fase V - Detalhamento do Projeto Básico da Barragem
  - Volume I - Memorial Descritivo do Projeto
  - Volume II – Peças Desenhadas
  - Volume III - Especificações Técnicas
  - Volume IV - Quantitativos e Orçamento
  - Volume V - Relatório Síntese
- Fase VI - Cadastro e Plano de Reassentamento
  - Volume I - Levantamento Cadastral - Relatório Geral
  - Volume II - Plano de Reassentamento - Relatório Geral
- Fase VII - Estudos Ambientais
  - Volume I - Estudos de Impacto Ambiental (EIA)
  - Volume II - Relatório de Impacto no Meio Ambiente (RIMA)
- Fase VIII - Planos de Operação e Manutenção
  - Volume I - Manuais de Operação e Manutenção**
- Fase IX - Avaliação Financeira e Econômica do Projeto
  - Volume I - Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

## **APRESENTAÇÃO**

---

---

# **BARRAGEM DE FIGUEIREDO**

## **FASE VIII - PLANOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO**

### **VOLUME I - MANUAIS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO**

#### **APRESENTAÇÃO**

No âmbito do contrato 007/PROÁGUA/SRH/CE/2001, adjudicado pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) à COBA/VBA, vem o Consórcio apresentar os Manuais de Operação e Manutenção, concernente a Etapa B Fase VIII – Planos de Operação e Manutenção, do Projeto Básico da Barragem Figueiredo.

O presente volume tem por objetivo apresentar os procedimentos de operação e manutenção da barragem e de seus órgãos hidráulicos, em nível de projeto básico. Uma vez que os manuais detalhados de operação e manutenção dos equipamentos elétricos e hidromecânicos serão posteriormente fornecidos pelos seus fabricantes, após a aquisição dos mesmos, o relatório que aqui se apresenta não aborda os pormenores de operação e manutenção desses equipamentos.

O capítulo 1 apresenta as características principais do empreendimento, bem como sua ficha técnica.

O segundo capítulo apresenta os aspectos mais relevantes a serem observados durante a operação da barragem, no contexto hidrológico, de gestão e hidráulico.

O capítulo 3 apresenta os procedimentos de manutenção a serem executados periodicamente para garantir o perfeito funcionamento do empreendimento, com ênfase nos aspectos relativos ao maciço da barragem propriamente dita.

O capítulo 4 apresenta uma estimativa dos custos de operação e manutenção do empreendimento. Cabe ressaltar que estes não incluem os custos de um eventual automação da operação e monitoramento da barragem, muito embora os equipamentos tenham sido especificados no projeto para que sejam compatíveis com esse tipo de operação.



## ÍNDICE

### APRESENTAÇÃO

<b>1 - FICHA TÉCNICA DA OBRA .....</b>	<b>1-1</b>
<b>2 - OPERAÇÃO .....</b>	<b>2-1</b>
2.1 - RESERVATÓRIO.....	2-1
2.1.1 - Regras de Operação do Reservatório.....	2-1
2.1.2 - Gerenciamento dos Recursos Hídricos Represados / Estabelecimento de Outorgas e Tarifação D'Água .....	2-2
2.2 - ASPECTOS OPERACIONAIS RELATIVOS AOS ÓRGÃO HIDRÁULICOS .....	2-4
2.2.1 - TOMADA D'ÁGUA .....	2-4
2.2.1 - VERTEDOURO .....	2-9
<b>3 - MANUTENÇÃO E MONITORAMENTO .....</b>	<b>3-1</b>
3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	3-1
3.2 - PLANO DE MONITORAMENTO DA BARRAGEM .....	3-1
3.2.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	3-1
3.2.2 - ÍNDICE GLOBAL DE RISCO .....	3-1
3.2.3 - SELEÇÃO DAS GRANDEZAS A OBSERVAR .....	3-3
3.2.4 - DISPOSITIVOS DE MONITORAMENTO .....	3-3
3.2.5 - FREQUÊNCIA DE LEITURAS .....	3-14
3.2.6 - INSPEÇÃO VISUAL .....	3-15
3.3 - PLANO DE PRIMEIRO ENCHIMENTO.....	3-17
3.3.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	3-17
3.3.2 - GRANDEZAS A OBSERVAR .....	3-18
3.3.3 - INSPEÇÃO VISUAL.....	3-19
3.3.4 - PATAMARES DE ENCHIMENTO.....	3-20
3.4 - VALORES DE REFERÊNCIA .....	3-20
3.4.1 - CONSTRUÇÃO .....	3-20
3.4.2 - PRIMEIRO ENCHIMENTO .....	3-22
3.4.3 - EXPLORAÇÃO .....	3-25
3.5 - PLANO DE MANUTENÇÃO.....	3-31



3.6 - AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA OBRA .....	3-33
3.6.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	3-33
3.6.2 - INSPEÇÃO VISUAL .....	3-34
3.6.3 - MONITORAMENTO .....	3-34
3.6.4 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA OBRA .....	3-36
3.6.5 - POTENCIAIS PROBLEMAS E EVENTUAIS MEDIDAS DE INTERVENÇÃO .....	3-38
3.7 - PLANO DE MONITORAMENTO DO RESERVATÓRIO .....	3-42
3.7.1 - PLANO DE MONITORAMENTO DA QUANTIDADE E QUALIDADE DA ÁGUA E DA SEDIMENTAÇÃO .....	3-42
3.7.2 - PLANO DE MONITORAMENTO DO NÍVEL PIEZOMÉTRICO E DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO .....	3-43
3.7.3 - ADMINISTRAÇÃO DA FAIXA DE PROTEÇÃO DO RESERVATÓRIO .....	3-45
<b>4 - EQUIPE E CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO .....</b>	<b>4-1</b>

# **BARRAGEM DE FIGUEIREDO**

## **FASE VIII - PLANOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO**

### **VOLUME I - MANUAIS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO**

#### **1 – FICHA TÉCNICA DA OBRA**

A Barragem de Figueiredo constitui-se como um importante elemento da infra-estrutura hídrica da Bacia do Médio Jaguaribe, sendo fundamental na ampliação da oferta hídrica para o consumo humano e irrigação no estado do Ceará.

A barragem, a construir no rio de Figueiredo, na bacia do rio Jaguaribe no estado do Ceará, Brasil, criará um grande reservatório cuja função será a satisfação das necessidades de água para consumo humano e industrial na região, designadamente dos municípios de Alto Santo, Ererê, Iracema, Pereiro e Potiretama, possibilitando também a irrigação do vale a jusante e o reforço dos projetos de irrigação previstos no baixo Jaguaribe. Para além dos objetivos principais de abastecimento público e industrial e de irrigação, a barragem permitirá o desenvolvimento de atividades associadas ao turismo e piscicultura.

A criação desta nova reserva de água conjuga-se designadamente com a do Açude do Castanhão, de maior capacidade, sendo prevista a exploração integrada destes dois reservatórios, que num contexto regional, atenderão às demandas hídricas de uma extensa região, desde o baixo Jaguaribe até à cidade de Fortaleza.

O local da barragem situa-se entre as povoações de Alto Santo, a Norte e Iracema, a Sul, sendo o acesso à obra feito através da rodovia CE – 205 que faz a ligação entre as referidas povoações, localizando-se a barragem a 1,6 km a nascente desta estrada.

A Barragem em estudo implanta-se cerca da cota (70,00) do rio Figueiredo e domina uma bacia hidrográfica de 1621 km<sup>2</sup>, cujo formato se apresenta longilíneo, com coeficiente de compacidade (Kc) igual a 1,66 e fator de forma (Kf) igual a 0,21.

A bacia do Açude Figueiredo é drenada por dois talvegues principais, sendo o primeiro formado pelo próprio Rio Figueiredo, com extensão de cerca de 88 km, e o segundo correspondente ao

afluente Riacho do Amparo, com 53 km de extensão, cuja confluência se dá a cerca de 17 km a montante do eixo da barragem.

Na seção da barragem, a precipitação e o escoamento médios anuais são de 877 mm e 229 hm<sup>3</sup>, respectivamente. As vazões máximas de cheia para períodos de retorno de 100 e 1000 anos são, respectivamente, de 3465 e 5168 m<sup>3</sup>/s.

A construção da Barragem de Figueiredo criará um reservatório com um volume total de 519 hm<sup>3</sup> para o nível normal de reservamento, à cota (99,0), o que permitirá obter uma vazão regularizada de 4,4 m<sup>3</sup>/s.

O vale de implantação da barragem é bastante aberto e topograficamente irregular, cortado por diversas linhas de água secundárias, criando “selas” associadas quase sempre a afloramentos rochosos de expressão e continuidade variável.

O desenvolvimento total da superfície de referência vertical que passa pelo coroamento, à cota (103,5), é igual a 2689 m. Existem ainda dois aterros de fecho de duas pequenas portelas, um na ombreira esquerda, com 138 m de extensão, e outro, na ombreira direita, com 120 m de extensão. Existiria ainda uma outra portela, na ombreira direita e com cerca de 135 m de extensão, que, no entanto, será utilizada para implantação do vertedouro.

As formações que ocorrem em toda a zona do estudo pertencem ao embasamento cristalino e são constituídas essencialmente por gnaisses com numerosas ocorrências de migmatitos, do Pré-Cambriano Não Diferenciado.

Ao longo do trajeto de rio, o maciço é praticamente aflorante em toda a extensão, mostrando pequena cobertura, de apenas algumas dezenas de centímetros de solo residual de alteração da rocha, em geral inferior a 1 m. Os afloramentos alinham-se grosseiramente segundo a direção NE-SW.

Desenvolvendo-se o curso do rio ao longo de um eixo sensivelmente paralelo ao sentido de ocorrência dos afloramentos rochosos da região, tem-se que o local de barragem intercepta, de forma mais ou menos perpendicular, esses alinhamentos geomorfológicos, não havendo a registrar qualquer aspecto singular.

Na calha do rio Figueiredo ocorrem aluviões (QHa) com alguns metros de espessura. Nos trechos em que existe um leito de cheias, por vezes com muitas centenas de metros de largura,

essas aluviões têm uma camada superior argilosa ou siltosa de 2 a 3 m de espessura, sobrejacente a uma camada essencialmente arenosa.

A calha propriamente dita está preenchida por aluviões arenosas com seixo fino, podendo atingir cerca de 10 m de espessura, constituindo grandes reservas de materiais granulares com blocos de quartzo e rochas cristalinas diversas.

O saneamento para fundação da barragem incluirá a escavação das aluviões e dos solos de alteração previsivelmente entre 0,5 m e 1,5 m sob os maciços e sob o núcleo. Constituem excepção a este cenário a calha do rio e trechos pontuais, designadamente, na margem esquerda. De fato, na calha do rio e no leito de cheias haverá, designadamente, que remover as aluviões para se atingir o maciço cristalino, o que exigirá uma escavação entre os 7 m e os 10,5 m.

A criação de adequadas condições de fundação incluirá igualmente a remoção ou desmonte de blocos e pequenos afloramentos rochosos e a escavação em zonas de afloramentos do topo do maciço rochoso de maiores dimensões, de modo a obterem-se superfícies adequadas à boa compactação dos aterros e a ser conseguida uma boa ligação entre os aterros e a fundação.

A barragem - com coroamento à cota (103,5) - terá uma altura máxima acima da fundação de 43,5 m e acima do terreno natural de 33,5 m. Ao coroamento conferiu-se uma largura de 8 m.

O perfil tipo da barragem adotado é enrocamento com núcleo argiloso, sendo assim as funções de estanqueidade unicamente conferidas por um núcleo central cujos taludes são inclinados a 1:0,33 (V:H).

Os solos para o núcleo, essencialmente constituídos por areias argilosas e argilas magras com percentagem de finos, em geral, entre 30% e 55%, e valores de índice de plasticidade entre 8 e 14%, serão provenientes de áreas de empréstimo localizadas a montante do eixo a uma distância máxima de 7 km. A maior jazida e de melhores condições de exploração (jazida 2) localiza-se junto à estrada para Alto Santo.

Nos maciços estabilizadores, em enrocamento de granulometria extensa, serão utilizados no essencial os materiais resultantes das escavações de regularização da superfície de fundação da barragem e, sobretudo, das escavações para a implantação do vertedouro - escavações essas que darão origem a volumes muito significativos de materiais rochosos – e ainda de áreas adjacentes.

A separação entre o núcleo e o maciço estabilizador de jusante será assegurada por um material filtrante, com 2,0 m de largura, e por um material drenante, com 1,5 m de largura, que acompanharão, respectivamente, o talude de jusante do núcleo e o talude de montante do maciço estabilizador de jusante. Estes materiais visam a proteção dos materiais do núcleo contra potenciais fenômenos de erosão interna e a drenagem dos caudais percolados pelo núcleo, materializando uma transição adequada entre os materiais finos do núcleo e os materiais de enrocamento do maciço de jusante.

Também o contato núcleo-maciço estabilizador de montante será objeto de separação, por intermédio de um filtro, com 1 m de largura, que protegerá o núcleo contra potenciais erosões associadas às variações do nível de água no reservatório e constituirá uma importante linha de defesa contra eventuais fenômenos de fraturação hidráulica.

Os materiais de filtro serão provenientes da exploração das areias na calha do rio, a montante do eixo da obra.

No que se refere à fundação, prevê-se o seu tratamento profundo apenas em duas zonas, uma correspondente à calha do rio e outra num pequeno trecho da ombreira direita

A vazão percolada através do núcleo e da fundação será restituída a linhas de água a jusante da obra. A drenagem far-se-á no essencial pelas cotas inferiores do enrocamento do maciço estabilizador de jusante, razão pela qual se limitou a percentagem de finos a 5%, após compactação, nos metros iniciais do aterro acima da fundação (cerca de 2 m na generalidade do desenvolvimento da obra).

Os taludes exteriores da barragem têm inclinações idênticas – 1/1,5 (V/H). O talude de jusante possui uma banquetta à cota (90,00) com 3 m de largura.

O paramento de montante é revestido por uma camada de proteção em enrocamento, com espessura de 0,90 m acima da cota (90,0) e 0,70 m abaixo desta cota, assentando o rip-rap diretamente sobre o aterro de enrocamento do maciço. A jusante, preconiza-se também uma proteção com enrocamento arrumado numa espessura de 0,70 m.

O perfil tipo da barragem simplifica-se na portela da margem esquerda, em que a barragem não é mais do que um aterro de fecho de um vale secundário e a carga hidráulica mínima ou mesmo nula. Assim, o perfil será neste trecho materializado por um aterro homogêneo de materiais finos, com taludes exteriores inclinados a 1:2 (V:H) e enrocamento de proteção dos paramentos.

O vertedouro, que se implanta na margem direita, é em canal com soleira frontal de 250 m de desenvolvimento e cota da crista da soleira à (99,00). Apenas a soleira descarregadora será revestida em concreto, sendo todo o canal escavado no maciço rochoso freqüentemente aflorante.

A montante da soleira descarregadora será escavado um canal de aproximação de grande desenvolvimento e com a cota de fundo à (97,00).

A soleira descarregadora normalizada, com uma extensão de 6,4 m, é em concreto e devidamente encastrada no substrato consistente.

O canal de descarga inicia-se à cota (96,70) e é composto por um primeiro trecho de largura variável de 250m para 200m no seu final, aproximadamente a 150m da crista da soleira descarregadora. Neste trecho o canal tem também pendente variável - inicialmente de 13,5% e passando para 12% a jusante. O segundo trecho apresenta largura constante de 200 m e declividade de 20%, iniciando-se na cota (78,00) e terminando no início da bacia de dissipação, cerca de 37,5 m a jusante.

A dissipação de energia é conseguida através de uma bacia de dissipação por ressalto hidráulico, escavada na rocha, com uma extensão de cerca de 38,5 m e com o fundo à cota (70,5).

Na concepção da tomada de água, procurou-se seguir aproximadamente o padrão das estruturas e condições operacionais adotadas na quase totalidade das tomadas de água das barragens da SRH, com a solução de galeria sob pressão com controle operacional de jusante e, ainda, com a possibilidade de aproveitamento da carga hidráulica a jusante.

A galeria com comprimento de 95 m, localizada a 30 m da margem direita do rio Figueiredo, foi prevista em tubulação de aço carbono de 2 m de diâmetro, revestida em concreto estrutural. A montante, na torre de tomada, acessível por uma passarela, será instalada uma comporta plana. Os canais de entrada e de saída têm, respectivamente, cerca de 70 e 170 m.

A jusante, o controle foi previsto através de duas válvulas dispersoras de 1.400 mm de diâmetro, associadas a válvulas borboletas montadas imediatamente a montante, para eventual manutenção das válvulas dispersoras.

O principal acesso à barragem será feito pela margem esquerda, ligando o coroamento da barragem à rodovia CE-205.

De seguida resumem-se as principais características das obras.

## PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM DE FIGUEIREDO

### I – IDENTIFICAÇÃO

Denominação:	Barragem Figueiredo
Estado:	Ceará
Município:	Alto Santo
Rio Barrado:	Rio Figueiredo
Coordenadas Geográficas (ombreira direita):	5° 37` (S) 38° 15` (W)
Coordenadas UTM (ombreira direita):	9.378.117(S)      582.262      (W)
	Sistema:S.A.D.69      (MERIDIANO CENTRAL 39° W.GR)
Proprietário:	Estado do Ceará/SRH
Autor do Projeto:	Consórcio COBA/VBA
Data do Projeto:	Novembro 2002 (Fase V)

### II – BACIA HIDROGRÁFICA

Área:	1621 km <sup>2</sup>
Precipitação média anual:	877 mm
Evaporação média anual:	2476 mm

### III – CARACTERÍSTICAS DO RESERVATÓRIO

Área da bacia hidráulica (cota 99):	4985,7 ha
Volume afluente médio anual:	228,7 hm <sup>3</sup>
Volume acumulado (cota 99):	519,6 hm <sup>3</sup>
Volume morto do reservatório:	2,2 hm <sup>3</sup>
Volume de alerta:	98,7 hm <sup>3</sup>
Vazão regularizada (90% com vol. alerta.):	4,4 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000 anos):	5168 m <sup>3</sup> /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000 anos):	1855 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente max. de projeto (TR=10.000 anos):	7013 m <sup>3</sup> /s
Vazão max. de projeto amortecida (TR=10.000 anos):	2592 m <sup>3</sup> /s
Nível d'água máximo normal (NNR):	(99,0)
Nível máximo para a cheia de TR=1.000 anos:	(101,26)
Nível máximo para a cheia de TR=10.000 anos:	(101,82)

#### **IV – BARRAGEM**

Tipo de barragem:	Enrocamento com núcleo argiloso
Cota do coroamento:	(103,5)
Extensão pelo coroamento:	2689 + 138 + 120 m
Largura do coroamento:	8 m
Altura máxima acima da fundação:	43,5 m
Altura máxima acima do leito do rio:	33,5 m
Inclinação do talude de montante:	1:1,5 (V:H)
Inclinação do talude de jusante:	1:1,5 (V:H)

#### **V – TOMADA DE ÁGUA**

Tipo:	Em galeria circular sob carga com duplo controle: torre de controle, localizada na margem direita (estaca BA42+10)
Canal de aproximação:	seção trapezoidal com fundo horizontal na cota 72, largura de 20m e taludes laterais com inclinação (H:V) 2:1
Torre de controle a montante:	fundo na cota 72, comprimento de 14,95m
Grade:	em aço carbono 3,30 x 4,00 m
Comporta:	tipo vagão 1,80 x 2,20 m.
Galeria:	geratriz inferior na cota 74, circular em aço carbono envelopada com concreto, diâmetro de 2,00 m e 96 m de comprimento
Estrutura de dissipação a jusante:	fundo na cota 72 comprimento de 31,25
Válvulas Borboleta:	duas com diâmetro de 1,4 m
Válvulas dispersoras:	duas com diâmetro de 1,4 m
Canal de restituição:	seção trapezoidal com fundo na cota 73 e declividade de 0,0002 m/m, largura de 20m e taludes laterais com inclinação (H:V) 2:1
Vazão máxima de descarga:	33,76 m <sup>3</sup> /s, válvulas totalmente abertas com desnível de montante para jusante de 27 m.



## **VI – VERTEDOURO**

Tipo:	Em canal com soleira frontal em concreto, não controlada, localizada na ombreira direita
Cota da soleira:	99 m
Desenvolvimento da soleira:	250 m
Extensão total do canal:	179,1m
Largura do canal:	Variável entre 250 m e 200 m
Vazão máxima para TR=1.000 anos (NMC):	1855 m <sup>3</sup> /s
Vazão máxima para TR=10.000 anos:	2592 m <sup>3</sup> /s
Lâmina máxima prevista (TR=1000 anos):	2,26 m
Lâmina máxima prevista (TR=10.000 anos):	2,82 m
Borda livre em relação ao NNR:	4,5 m
Borda livre em relação ao NMC:	2,24 m

## **VII – PRINCIPAIS QUANTIDADES DE TRABALHO**

### **1 – Barragem**

Volume de escavação:	443 470 m <sup>3</sup>
Volume de aterro:	1 942 120 m <sup>3</sup>

### **2 – Tomada de água**

Volume de escavação:	27 560 m <sup>3</sup>
Volume de concreto armado:	1 699 kg
Tubulação em aço:	70 476 kg

### **3 – Vertedouro**

Volume de escavação:	1 092 691 m <sup>3</sup>
Volume de concreto :	951 m <sup>3</sup> (concreto armado)
	1 037 m <sup>3</sup> (concreto simples)

## **2 - OPERAÇÃO**

### **2.1 – RESERVATÓRIO**

#### **2.1.1 – Regras de Operação do Reservatório**

A tomada d'água da Barragem Figueiredo foi dimensionada para operar com uma vazão de até 34 m<sup>3</sup>/s, contudo, a vazão a ser regularizada com garantia de 90% com operação adotando Volume de Alerta (fornecimento de 50% da vazão garantida no período de falha) é de 4,4 m<sup>3</sup>/s, que em termos anuais significa uma retirada média de 131,8 hm<sup>3</sup>/ano.

A regra de operação estabelecida para definição da vazão regularizada pela barragem nos estudos executados não corresponderá, necessariamente, à operação efetivamente implementada pelo órgão gestor do empreendimento (no caso a COGERH). Este definirá os volumes efluentes à barragem em função do seu planejamento e das decisões do Comitê de Usuários da Bacia do Jaguaribe, contudo a regra de operação teórica definida apresenta-se como um referencial da capacidade de regularização hídrica do empreendimento.

Apresenta-se a seguir a regra de operação adotada nos estudos executados e os principais aspectos a serem observados na operação a ser efetivamente implementada pela COGERH.

Regra de Operação Adotada Nos estudos da Barragem:

- Garantia de atendimento pleno da vazão regularizada de 4,4 m<sup>3</sup>/s em 90% do tempo;
- Utilização de volume de alerta, igual a 20% do volume útil (cota 86,5 m), a partir do qual seria fornecida a vazão de emergência igual a 2,2 m<sup>3</sup>/s, o que ocorreria com uma frequência estimada em 10% do tempo;

Aspectos a serem observados na definição da regra de operação efetiva do açude Figueiredo:

- Sazonalidade das demandas de irrigação a jusante da barragem (principais demandas a serem atendidas pelo empreendimento);
- Operação integrada com os outros grandes açudes da bacia do Jaguaribe (Orós, Castanhão e Banabuiú);
- Operação consonante com o Eixo de Integração Castanhão/RMF (em implantação);
- Necessidades de água para consumo humano, industrial e animal a jusante do empreendimento;
- Vazões captadas pelo Canal do Trabalhador;

- Transposições para o Jaguaribe (Bacias do São Francisco e/ou Tocantins).

### **2.1.2 – Gerenciamento dos Recursos Hídricos Represados / Estabelecimento de Outorgas e Tarifação D'Água**

Os planos e programas ligados aos recursos hídricos devem relacionar-se com os planos de desenvolvimento econômico dos âmbitos federal, estadual e municipal, de modo que o próprio investimento estabeleça formas de articulação entre as entidades de gestão do açude, e aquelas do planejamento e coordenação geral de programas públicos. Desta forma, a gestão do reservatório deve ser conduzida de acordo com uma perspectiva global, considerando a bacia hidrográfica como um todo.

O núcleo central do modelo de gestão dos recursos hídricos será constituído por um conjunto de entidades que deverá desenvolver ações de gestão unificada, considerando a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, a integração dos usos múltiplos, o controle do regime das águas, o controle da poluição e dos processos erosivos.

O modelo de gestão a ser empregado deverá prever as formas de relacionamento entre as entidades de gestão e os usuários, compreendendo os direitos e as obrigações decorrentes do uso e derivação da água.

A participação do público em geral na gestão dos recursos hídricos, deve ser uma das formas de viabilização política da gestão dos mesmos. Porém tal participação deve ser, de preferência, sob modos de informação e consulta, sem que a administração pública decline no seu dever de decidir entre alternativas.

Os sistemas municipais de serviços públicos deverão deter atribuições de gestão de recursos hídricos por meio de delegação estadual, sujeito às normas estaduais. Em alguns casos isolados, como saneamento básico e drenagem urbana, o interesse do município é relevante e a legislação deverá prever as competências municipais e seus limites.

O Estado do Ceará atualmente conta com o Plano Estadual de Recursos Hídricos, o qual propõe um planejamento global de utilização dos recursos hídricos, com vistas a um equilíbrio dinâmico do balanço demanda versus disponibilidade, procurando impedir que a água venha a ser um fator limitante ao desenvolvimento econômico e social do Estado.

Para propiciar as condições de desenvolvimento sustentável na área do açude, de forma que o uso dos recursos naturais não supere sua condição de se renovar, garantindo a melhoria de

vida para todos e evitando possíveis limitações ao desenvolvimento econômico e social das gerações futuras, é fundamental gerenciar com eficiência estes recursos.

A disponibilidade de água para os vários usos depende de como são tratadas as questões relativas a sua quantidade e qualidade, por isso, para uma utilização racional é impossível separar estes aspectos. Com o passar do tempo, a tendência é aumentar o consumo, entretanto nem sempre se pode aumentar a oferta na mesma quantidade, pois existem limites naturais, como a quantidade de chuva que cai numa determinada região.

Desta forma agravam-se os conflitos, pois justamente por ser a água um elemento que serve a múltiplos usos, é comum ocorrer à competição entre os usuários. É fundamental, portanto, estabelecer mecanismos que permitam o uso desse bem de forma ordenada, considerando todos os usos e atividades que possam resultar em conflitos ou degradação para o meio ambiente, daí surge à importância do gerenciamento integrado dos recursos hídricos implantado pelo governo. O gerenciamento de recursos hídricos consiste, portanto, em um conjunto de ações governamentais destinado a regular o uso, controle e preservação da água.

Tendo como referencial o princípio de que a água deve ser gerenciada de forma descentralizada, integrada e participativa, sendo a bacia hidrográfica a unidade de planejamento e atuação, deve-se estimular a participação de usuários, instituições governamentais e não governamentais e da sociedade civil neste processo. Para que o gerenciamento se dê nesses moldes, faz-se necessário à utilização de vários instrumentos, tais como:

- planejamento: visa realizar estudos na busca de adequar, o uso, controle e preservação dos recursos hídricos às necessidades sociais e/ou governamentais identificadas na bacia hidrográfica;
- operação: objetiva definir a liberação de águas de forma a atender a demanda (os usos), levando em consideração a oferta disponível e as características do reservatório;
- monitoramento: tem a função de realizar o acompanhamento dos aspectos qualitativos e quantitativos da água, servindo de informação para auxiliar a tomada de decisão da operação;
- manutenção: é importante na realização de estudos da situação física das estruturas hidráulicas, verificando a necessidade da recuperação e definindo planos de conservação para as referidas estruturas;

- apoio à organização dos usuários: conscientizar/educar os usuários para que, de forma organizada, possam gerenciar, com o apoio técnico, este bem tão precioso da natureza.

A utilização destes instrumentos tem por finalidade a implementação de um sistema gerencial que integre as ações dos diversos órgãos federais, estaduais ou municipais que atuam no setor, e que seja capaz de fornecer informações para a tomada de decisão com o objetivo final de promover, de forma coordenada, o uso, controle e preservação da água.

Para facilitar a implementação da lei de recursos hídricos (Lei nº 11.996 de 24/07/92) e, possibilitar um maior controle sobre a quantidade e distribuição de água necessária para atender todas as necessidades dos usuários, foram definidos alguns instrumentos legais:

- a outorga: que se constitui numa autorização, com validade anual, concedida pela Secretaria dos Recursos Hídricos que assegura ao usuário o direito de usar a água num determinado local, retirando-a de uma determinada fonte superficial ou subterrânea, com uma vazão definida e para uma finalidade também definida;
- a licença para obras hídricas: que se constitui numa autorização concedida pela Secretaria dos Recursos Hídricos à execução de qualquer obra ou serviço de oferta de água que altere o regime, a quantidade ou a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos;
- a cobrança pelo uso da água bruta: prevista como forma de diminuir o desperdício, aumentar a eficiência no uso da água e como fonte arrecadadora de fundos para cobrir as despesas com gestão, operação e manutenção das obras hídricas.

O estabelecimento do sistema de outorga e tarifação d'água ficará a cargo da COGERH.

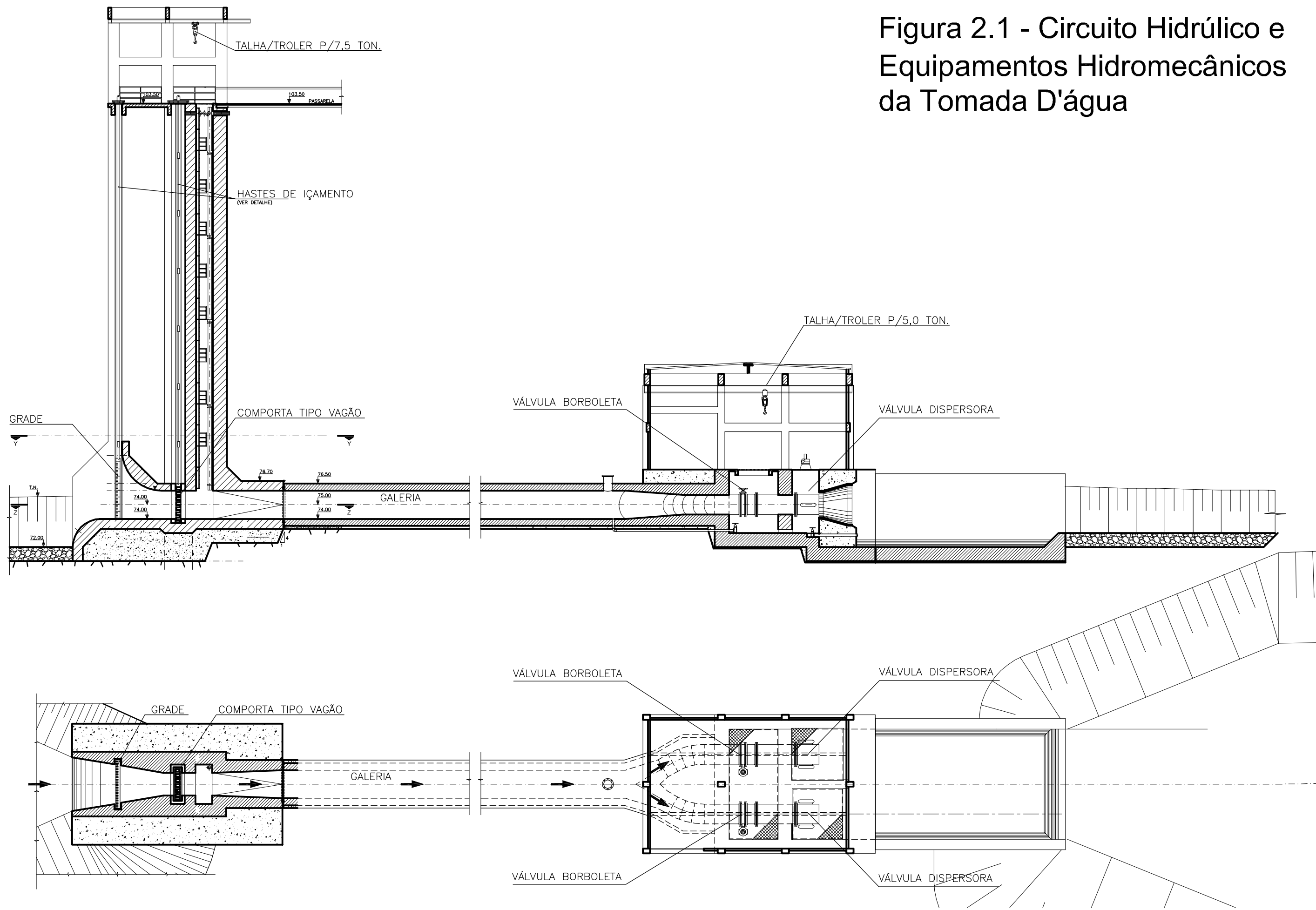
## **2.2 – ASPECTOS OPERACIONAIS RELATIVOS AOS ÓRGÃO HIDRÁULICOS**

Os órgão hidráulicos da barragem correspondem à tomada d'água, que controlará a vazão efluente à jusante da barragem, e ao vertedouro, responsável pela descarga dos volumes excedentes à capacidade de acumulação do reservatório.

### **2.2.1 – Tomada D'água**

Na estrutura de tomada d'água está prevista a implantação dos seguintes elementos de controle/proteção: Grade, Comporta, Válvulas Borboleta e Válvulas Dispensoras. A [Figura 2.1](#) apresenta o layout em planta e perfil do circuito hidráulico da tomadas d'água, mostrando a disposição dos equipamentos hidromecânicos.

Figura 2.1 - Circuito Hidráulico e Equipamentos Hidromecânicos da Tomada D'água



Os manuais contendo os procedimentos detalhados de operação a serem seguidos para os todos os equipamentos eletromecânicos e hidromecânicos, deverão constar no escopo do fornecimento dos mesmos, ou seja deverão ser fornecidos pelo fabricante dos equipamentos adquiridos.

A seguir apresenta-se os principais aspectos a serem observados em relação à operação dos equipamentos hidromecânicos da tomada d'água.

#### 1) Grade:

A Grade será montada imediatamente a montante da entrada da tomada d'água. Terá a função de impedir que corpos estranhos de maiores dimensões adentrem ao circuito hidráulico da tomada, causando entupimentos e/ou danos na galeria e nos equipamentos de controle a jusante. O Desenho 21 do projeto Básico apresenta a disposição da grade e dos outros equipamentos associados na torre de tomada d'água.

A instalação e retirada para inspeção e manutenção da grade será efetuada a partir do topo da torre de tomada d'água, de onde a grade será descida suavemente deslizando através das guias em aço chumbadas ao concreto da tomada. Durante esse processo a grade ficará suspensa por uma haste de aço rígida e articulada, a qual se será acoplada ao equipamento Talha/Trole que efetuará o içamento ou abaixamento da mesma (veja desenho 21 A do Projeto Básico).

Após instalada a grade ficará encaixada nas guias laterais e apoiada na soleira que será chumbada ao concreto na boca de entrada da galeria e estará pronta para operação.

O procedimento de retirada da grade é análogo ao da instalação.

Cabe ressaltar que durante os procedimentos de içamento ou abaixamento da grade o fluxo de água na tomada d'água deverá ser interrompido, pela comporta vagão ou pelas válvulas borboleta e dissipadoras a jusante, a fim de evitar tensões não previstas na estrutura e equipamentos de içamento/abaixamento.

#### 2) Comporta Vagão:

A Comporta Vagão será implanta na torre de tomada d'água imediatamente após a grade, com a função de interromper o fluxo na tomada d'água a montante da galeria. Desta forma a

comporta permitirá a manutenção dos equipamentos da estrutura de jusante da tomada d'água, bem como o acesso à tubulação da galeria para eventual inspeção e/ou manutenção.

A instalação da Comporta Vagão será efetuada pelo do topo da torre de tomada d'água, de onde a comporta será descida suavemente deslizando através da guias em aço chumbadas ao concreto da torre, suspensa por uma haste rígida e articulada a qual se encontra conectada à Talha/Trole de içamento. O Desenho 21 do projeto Básico apresenta a disposição da Comporta Vagão e dos outros equipamentos associados na torre de tomada d'água.

O acionamento da comporta será feito lentamente através da haste de içamento/abaixamento utilizando a talha elétrica instalada no topo da torre. A comporta deverá fechar sempre, sem que seja necessária força descendente proveniente do sistema de acionamento.

As especificações apresentadas no projeto básico exigem que a comporta fornecida e instalada seja capaz de operar (efetuar a interrupção do fluxo na tomada d'água) nas condições extremas de fluxo na tomada d'água, que correspondem ao reservatório na cota máxima e válvulas da estrutura de jusante da tomada totalmente abertas, ou seja interromper o fluxo de uma vazão de 33,76 m<sup>3</sup>/s (correspondendo uma velocidade de 10,55 m/s) sob uma carga hidrostática de 27 m.c.a. Entretanto, sempre que possível, a comporta deverá ser acionada após o fechamento completo das válvulas da estrutura de jusante, a fim de evitar a ação de esforços hidrodinâmicos excessivos sobre a comporta.

Em condições normais de operação o fluxo na seção da comporta corresponderá a uma vazão de 4,4 m<sup>3</sup>/s e uma velocidade de 1,38 m/s.

### 3) Válvulas Borboleta:

Será instalada uma válvula borboleta a montante de cada uma das duas válvulas dispersoras, na estrutura de jusante da tomada d'água.

As válvulas borboletas têm a função de interromper o fluxo a montante de cada uma das válvulas dispersoras, permitindo a manutenção das mesmas. Como cada válvula borboleta pode interromper o fluxo a montante de cada válvula dispersora, é possível o funcionamento da estrutura de dissipação com apenas uma das válvulas, bastando que para tanto se utilize a válvula borboleta a montante da válvula dispersora a ser removida para interromper o fluxo nesse última.



As válvulas borboleta podem ainda ser utilizadas para interromper o fluxo na tomada d'água em uma situação de emergência de não funcionamento das válvulas dissipadoras.

O acionamento deverá ser mecânico, através de servomotor e manual, com volante e redutor, e o eixo deverá ficar na horizontal. As válvulas borboletas deverão ainda ter preponderância ao fechamento.

O acionamento das válvula borboletas deve ser feito preferencialmente após o fechamento completo da válvula dispersora de jusante. Contudo, conforme as exigências apresentadas nas especificações de projeto básico, a mesma deve ser capaz de interromper o fluxo, de forma lenta e suave (tempo mínimo de 30 minutos para uma operação completa de abertura ou fechamento), na tomada d'água em condições extremas, que correspondem ao reservatório na cota máxima e válvula dispersora totalmente abertas, ou seja interromper o fluxo de uma vazão de 16,88 m<sup>3</sup>/s (correspondendo uma velocidade de 10,97 m/s) sob uma carga hidrostática de 27 m.c.a.

Em condições normais de operação o fluxo na válvula borboleta corresponderá a uma vazão de 4,4 m<sup>3</sup>/s e uma velocidade de 2,86 m/s.

O Desenho 22 do projeto Básico apresenta a disposição da Válvula Borboleta e dos outros equipamentos associados na estrutura de jusante da tomada d'água.

#### 4) Válvulas Dispersoras:

Serão instaladas duas válvulas dispersoras na estrutura de jusante da tomada d'água, com a função dupla de controlar a vazão efluente ao barramento e dissipar a energia do escoamento dessa descarga, de forma a que o fluxo não comprometa a estabilidade do canal de restituição, do leito do rio a jusante nem da própria barragem.

O acionamento das válvulas será efetuado mecanicamente, devendo ser prevista a possibilidade de acionamento remoto a partir da sede da COGERH em Fortaleza.

Caso haja restrição à abertura total das válvulas em função de níveis elevados da cota d'água, providências devem ser tomadas pelo fabricante no sentido de evitar manobras impróprias:

- instalar pressostatos à montante das válvulas e lâmpadas de sinalização no quadro de comando e condições de travamento, indicando e impedindo que a partir daquele nível d'água na barragem, as válvulas não poderão ser totalmente abertas;

- instalar nas válvulas plaquetas indicativas visíveis para quem for operá-las manualmente, alertando para o fato de haver limitação de abertura e necessidade de consulta ao manual de operação do equipamento.

A relação entre a carga hidráulica, a abertura da válvula e a vazão efluente definem a forma de operação da mesma. O fabricante da válvula dispersora deverá fornecer a curva da válvula, que relaciona as três grandezas citadas, calibrada para as condições de funcionamento específicas do projeto, isto é, considerando as perdas hidráulicas nos equipamentos e estruturas localizadas a montante. A [Figura 2.2](#) a seguir apresenta a curva teórica das duas válvulas dispersoras da Barragem Figueiredo funcionando conjuntamente enquanto que a [Figura 2.3](#) apresenta a curva de uma válvula funcionando de forma individual.

O Desenho 22 do projeto Básico apresenta a disposição da Válvula Dispersora e dos outros equipamentos associados na estrutura de jusante da tomada d'água.

### **2.2.1 – Vertedouro**

O vertedouro projetado para a barragem Figueiredo não será equipado com comportas ou qualquer outro equipamento hidromecânico de controle do vertimento, conseqüentemente seu acionamento não necessita da intervenção de um operador; uma vez estabelecidas as condições hidráulicas de vertimento (cota do nível d'água armazenada maior que 99m) o vertedouro passará automaticamente a dar trânsito às vazões de cheia. O desenhos 15, 16, 17 e 18 do Projeto Básico apresentam a localização e os detalhes do vertedouro.

A vazão descarregada pelo vertedouro é função do nível de armazenamento do reservatório e da geometria do mesmo, a qual apresenta-se na [Figura 2.4](#). A [Figura 2.5](#) a seguir apresenta a curva chave do vertedouro que relaciona a vazão vertida com a cota a montante, calculada de acordo com as recomendações da publicação Design of Small Dams, United States Department of Interior / Bureau of Reclamation (USBR).

Será instalada no canal de aproximação, a montante do vertedouro, uma régua para que possam ser feitas as leituras de nível e o cálculo das correspondentes vazões efluentes. Deverá ser prevista ainda o monitoramento remoto do nível do reservatório, o qual será enviado em tempo real para a sede da COGERH em fortaleza.

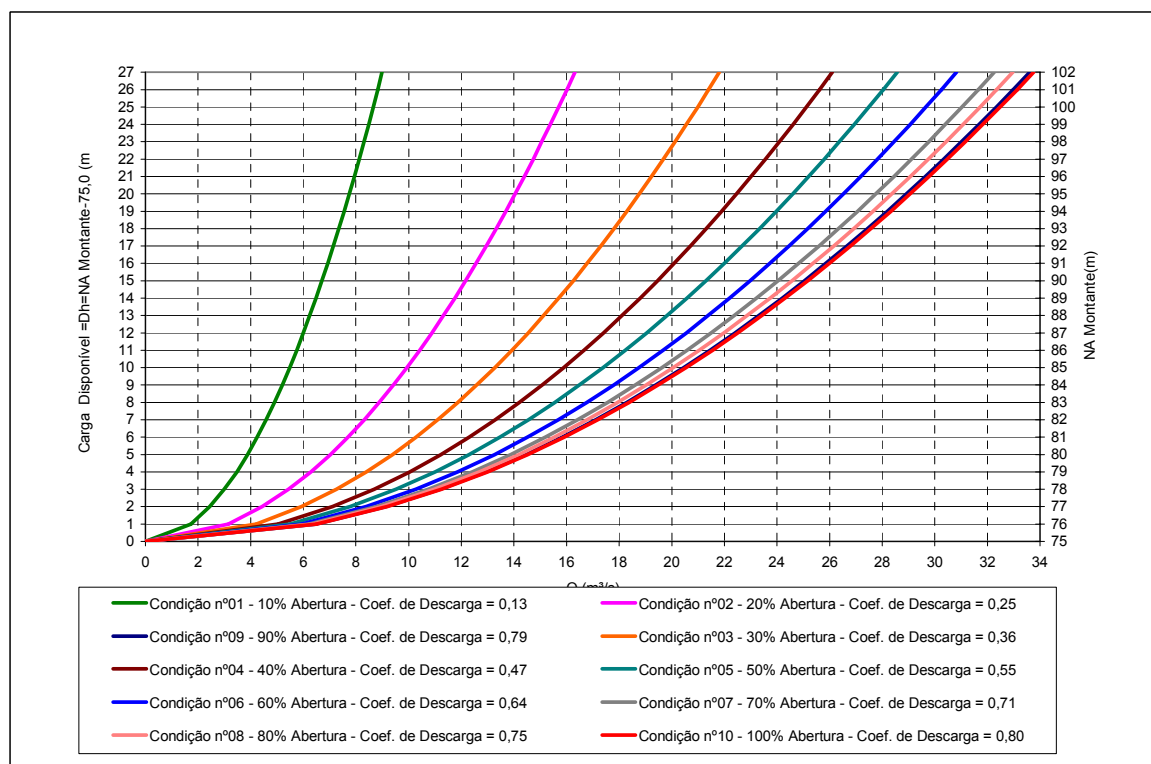
A curva chave teórica do vertedouro ([Figura 2.5](#)) deverá ser verificada e validada na ocorrência das primeiras cheias que causem vertimento após a implantação da barragem, através de campanhas de medição de velocidade e cota no canal de aproximação.

**Figura 2.2 – Gráfico da vazão em função da carga disponível para diferentes coeficientes de descargas, utilizando 2 válvulas**

Nº das Condições	Perc.de Abertura da Válvula	Valor Aproximado de S/D	Segundo o Fabricante Howel-Bunger		Segundo Gráficos da Corps of Engineers				Valores Práticos Médio Constantes (*)		Valor Adotado para Dimensionamento da Tomada D'Água	
			Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$	(Válvulas 6 aletas)		(Válvulas 4 aletas)		Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$	Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$
					Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$	Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$				
1	10%	0,05	0,14	51,02	0,09	123,46	0,09	123,46		0,00	0,13	59,17
2	20%	0,10	0,27	13,72	0,20	25,00	0,19	27,70	0,20	25,00	0,25	16,00
3	30%	0,18	0,38	6,93		0,00		0,00	0,30	11,11	0,36	7,72
4	40%	0,20	0,50	4,00	0,40	6,25	0,39	6,57	0,41	5,95	0,47	4,53
5	50%	0,25	0,59	2,87		0,00		0,00	0,50	4,00	0,55	3,31
6	60%	0,30	0,68	2,16	0,58	3,02	0,55	3,31	0,58	2,97	0,64	2,44
7	70%	0,35	0,75	1,78		0,00		0,00	0,66	2,30	0,71	1,98
8	80%	0,40	0,80	1,56	0,72	1,93	0,69	2,10	0,74	1,83	0,75	1,78
9	90%	0,45	0,84	1,42		0,00		0,00	0,80	1,56	0,79	1,60
10	100%	0,50	0,85	1,38	0,84	1,42	0,81	1,52	0,86	1,35	0,80	1,56

Valores indicados por diferentes fontes de pesquisa; e valores adotados para definição da curva de descarga da Tomada d'água;

(\*) - Tese de Mestrado "A Utilização de Válvulas Dispensoras Cônicas como Dispositivo de Medição de Vazão" do MS. Luiz Celso Braga Pinto



**Figura 2.3 – Gráfico da vazão em função da carga disponível para diferentes coeficientes de descargas, utilizando 1 válvula dispersora**

Nº das Condições	Perc.de Abertura da Válvula	Valor Aproximado de S/D	Segundo o Fabricante Howel-Bunger		Segundo Gráficos da Corps of Engineers				Valores Práticos Médio Constantes (*)		Valor Adotado para Dimensionamento da Tomada D'Água	
			Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$	(Válvulas 6 aletas)		(Válvulas 4 aletas)		Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$	Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$
					Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$	Coefic. de Descarga (C)	Perda de Carga $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$				
1	10%	0,05	0,14	51,02	0,09	123,46	0,09	123,46		0,00	0,13	59,17
2	20%	0,10	0,27	13,72	0,20	25,00	0,19	27,70	0,20	25,00	0,25	16,00
3	30%	0,18	0,38	6,93		0,00		0,00	0,30	11,11	0,36	7,72
4	40%	0,20	0,50	4,00	0,40	6,25	0,39	6,57	0,41	5,95	0,47	4,53
5	50%	0,25	0,59	2,87		0,00		0,00	0,50	4,00	0,55	3,31
6	60%	0,30	0,68	2,16	0,58	3,02	0,55	3,31	0,58	2,97	0,64	2,44
7	70%	0,35	0,75	1,78		0,00		0,00	0,66	2,30	0,71	1,98
8	80%	0,40	0,80	1,56	0,72	1,93	0,69	2,10	0,74	1,83	0,75	1,78
9	90%	0,45	0,84	1,42		0,00		0,00	0,80	1,56	0,79	1,60
10	100%	0,50	0,85	1,38	0,84	1,42	0,81	1,52	0,86	1,35	0,80	1,56

Valores indicados por diferentes fontes de pesquisa; e valores adotados para definição da curva de descarga da Tomada d'água;

(\*) - Tese de Mestrado "A Utilização de Válvulas Dispersoras Cônicas como Dispositivo de Medição de Vazão" do MS. Luiz Celso Braga Pinto

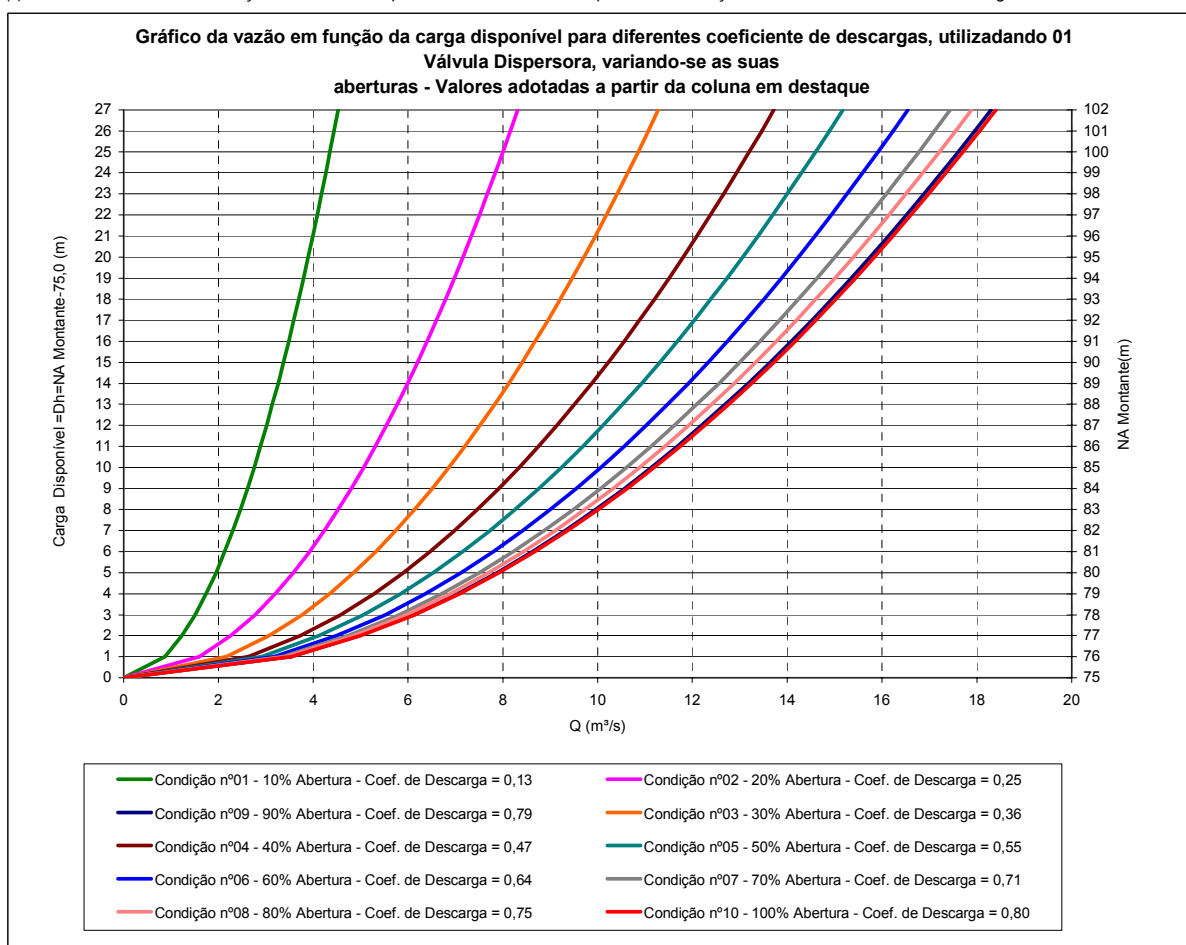


Figura 2.4 - Características Geométricas da Soleira do Vertedouro

$$q = CH_0^{3/2} = 7,42 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$V_0 = \frac{q}{P+h} = 1,73 \text{ m/s}$$

$$h_0 = \frac{q^2}{2g(P+h_0)} = 0,165 \text{ m}$$

$$H_0 = 2,28$$

$$h_0 = 0,165$$

$$\frac{h_a}{H_0} = 0,072$$

$$k = 0,530$$

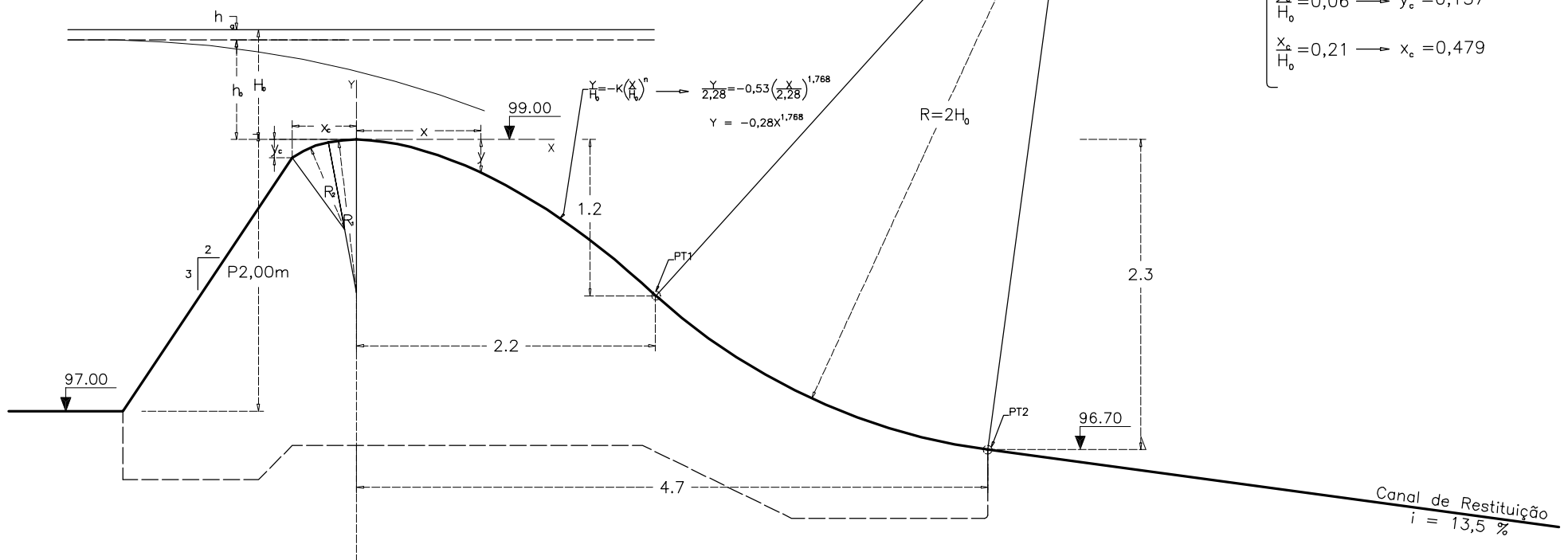
$$n = 1,768$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,29 \rightarrow R_2 = 0,661$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,50 \rightarrow R_1 = 1,140$$

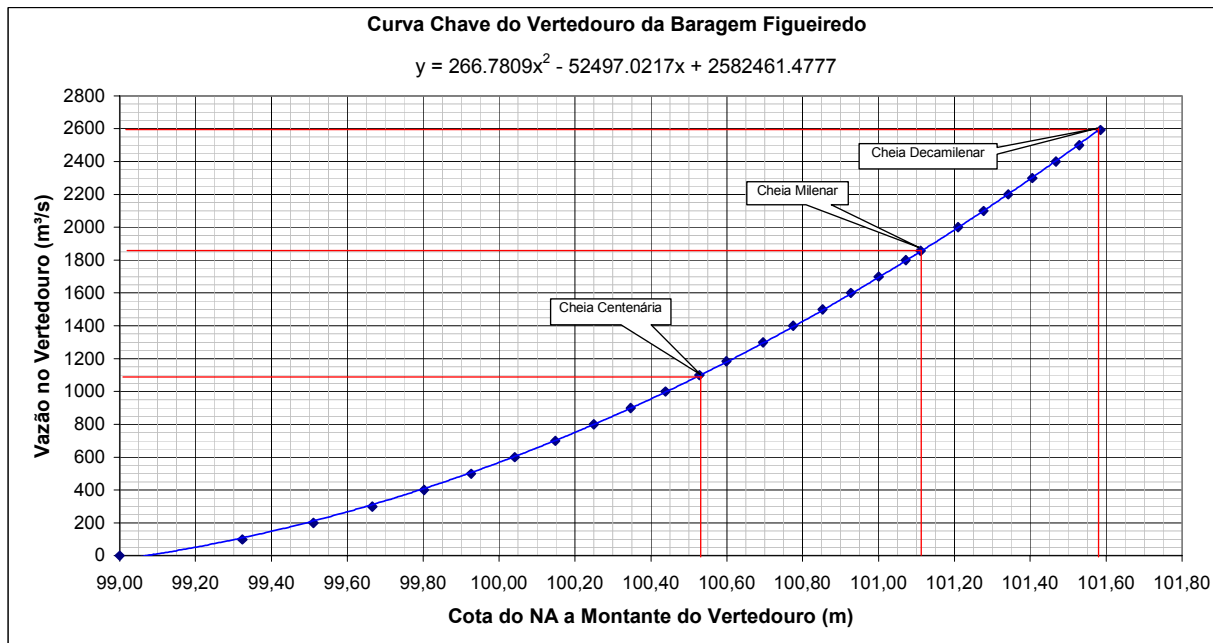
$$\frac{y_c}{H_0} = 0,06 \rightarrow y_c = 0,137$$

$$\frac{x_c}{H_0} = 0,21 \rightarrow x_c = 0,479$$



**Figura 2.5 – Curva chave do vertedouro da Barragem Figueiredo**

Cota Soleira (m)	Cota Canal de Aproximação (m)	Largura do Vertedouro (L) (m)	Altura da Crista do Vertedouro (P) (m)	Coefficient e de Descarga (C)	Q (m³/s)	q = Q / L (m²/s)	H <sub>0</sub> = (q/C) <sup>2/3</sup> (m)	V <sub>a</sub> = q / (P+H <sub>0</sub> - h <sub>a</sub> ) (m/s)	h <sub>a</sub> = V <sub>a</sub> <sup>2</sup> / 2g (m)	h <sub>a</sub> (m)	Cota NA = Cota Soleira + H <sub>0</sub> - h <sub>a</sub> (m)
99,00	97,00	250	2,00	2,16	0	0	0	0	0	0,00	99,00
99,00	97,00	250	2,00	2,16	100	0,4	0,32	0,17	0,00	0,00	99,32
99,00	97,00	250	2,00	2,16	200	0,8	0,52	0,32	0,01	0,01	99,51
99,00	97,00	250	2,00	2,16	300	1,2	0,68	0,45	0,01	0,01	99,67
99,00	97,00	250	2,00	2,16	400	1,6	0,82	0,57	0,02	0,02	99,80
99,00	97,00	250	2,00	2,16	500	2	0,95	0,68	0,02	0,02	99,93
99,00	97,00	250	2,00	2,16	600	2,4	1,07	0,79	0,03	0,03	100,04
99,00	97,00	250	2,00	2,16	700	2,8	1,19	0,89	0,04	0,04	100,15
99,00	97,00	250	2,00	2,16	800	3,2	1,30	0,98	0,05	0,05	100,25
99,00	97,00	250	2,00	2,16	900	3,6	1,41	1,08	0,06	0,06	100,35
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1000	4	1,51	1,16	0,07	0,07	100,44
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1100	4,4	1,61	1,25	0,08	0,08	100,53
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1184	4,7	1,69	1,32	0,09	0,09	100,60
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1300	5,2	1,80	1,41	0,10	0,10	100,70
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1400	5,6	1,89	1,48	0,11	0,11	100,78
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1500	6	1,98	1,56	0,12	0,12	100,85
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1600	6,4	2,06	1,63	0,14	0,14	100,93
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1700	6,8	2,15	1,70	0,15	0,15	101,00
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1800	7,2	2,23	1,77	0,16	0,16	101,07
99,00	97,00	250	2,00	2,16	1855	7,4	2,28	1,81	0,17	0,17	101,11
99,00	97,00	250	2,00	2,16	2000	8	2,39	1,90	0,18	0,18	101,21
99,00	97,00	250	2,00	2,16	2100	8,4	2,47	1,96	0,20	0,20	101,28
99,00	97,00	250	2,00	2,16	2200	8,8	2,55	2,03	0,21	0,21	101,34
99,00	97,00	250	2,00	2,16	2300	9,2	2,63	2,09	0,22	0,22	101,41
99,00	97,00	250	2,00	2,16	2400	9,6	2,70	2,15	0,24	0,24	101,47
99,00	97,00	250	2,00	2,16	2500	10	2,78	2,21	0,25	0,25	101,53
99,00	97,00	250	2,00	2,16	2592	10,368	2,85	2,26	0,26	0,26	101,58



## 3 – MANUTENÇÃO E MONITORAMENTO

### 3.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Visando o acompanhamento do comportamento da Barragem do Figueiredo e a garantia da sua funcionalidade e segurança, faz-se no presente capítulo a apresentação dos Planos de Monitoramento da Barragem, de Primeiro Enchimento, de Manutenção e de Monitoramento do Reservatório.

### 3.2 – PLANO DE MONITORAMENTO DA BARRAGEM

#### 3.2.1 – Considerações iniciais

O Plano de Monitoramento da Barragem do Figueiredo, que se descreve nos capítulos subsequentes, permitirá acompanhar o comportamento do aterro e respectiva fundação nos diversos períodos de vida da obra. Os dados registados pelo sistema serão essenciais na avaliação das condições de segurança estrutural e hidráulico-operacional, na confirmação da aplicabilidade dos critérios e parâmetros adotados no dimensionamento da obra e na verificação da sua adequada funcionalidade.

#### 3.2.2 – Índice global de risco

A avaliação do índice de risco global associado à Barragem do Figueiredo foi efetuada, atendendo às recomendações do ICOLD, atribuindo valores ( $\alpha_i$ ) aos diferentes fatores de risco, segundo regras simples expressas no [Quadro 3.1](#). Os fatores de risco são agrupados em três categorias, conforme estejam associados às ações exteriores (E), à estrutura em si (F) ou aos bens materiais e humanos afetados pela rotura da obra (R). O índice de risco global,  $\alpha_g$ , é determinado pelo produto dos três fatores anteriormente referidos.

A ponderação das características específicas da obra conduziu à seguinte estimativa:

- Condições exteriores ou de ambiente (fator E).

$$E = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \alpha_i = \frac{1}{5} (2 + 2 + 3 + 1 + 2) = 2,0$$

- Condições da obra: fiabilidade (fator F)

$$F = \frac{1}{4} \sum_{i=6}^9 \alpha_i = \frac{1}{4} (1 + 3 + 3 + 3) = 2,5$$

**Quadro 3.1 - Fatores de Apreciação das Condições de Risco**

i/ α	Associados a Fatores Exteriores ou Ambientais (E)					Associados a Barragem - Fiabilidade (F)				Associados a Fatores Humanos e Económicos (R)	
	Sismicidade (período de retorno de 1 000 anos)	Escorregamento taludes (probabilidade)	Cheias superiores à do projeto (probabilidade)	Gestão do Reservatório	Ações agressivas (Clima, água, etc)	Dimensionamento estrutural	Fundações	Órgãos de descarga	Manutenção	Volume do reservatório (m <sup>3</sup> )	Instalações a jusante
1	Mínima ou nula a <0,05g	Mínima ou nula	Muito baixa (barragens e betão)	4	Mínimas	Adequado	Muito boas	Fiáveis	Muito boa	< 10 <sup>5</sup>	Zona não habitada sem valor económico
2	Baixa 0,05 g < a < 0,1 g	Baixa	---	---	Fracas	---	Boas	---	Boa	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	Áreas isoladas, agricultura
3	Média 0,1 g < a < 0,2 g	---	Muito baixa (barragens de aterro)	Semanal	Médias	Aceitável	Aceitáveis	---	Satisfatória	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	Pequenos aglomerados populacionais, agricultura, indústria artesanal
4	Forte 0,2 g < a < 0,4 g	---	---	Diária	Fortes	---	---	---	---	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	Aglomerados populacionais médios, pequenas indústrias
5	a > 0,4 g	---	---	Bombagem	Muito fortes	---	Mediocre	---	---	> 10 <sup>9</sup>	Grandes aglomerados populacionais, indústrias, instalações nucleares
6(a)	---	Grande	Elevada	---	---	Inadequado	Mediocre a más	Insuficientes não operacionais	Insatisfatórias	---	---

(a) - Condições anormais - intervenção técnica indispensável

$$E = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \alpha_i$$

$$F = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^9 \alpha_i$$

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{11} \alpha_i$$



- Riscos humanos e económicos (fator R)

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=10}^{11} \alpha_i = \frac{1}{2} (4 + 4) = 4$$

O valor do índice de risco global é de:

$$\alpha_g = E \times F \times R = 2,0 \times 2,5 \times 4,0 = 20,0$$

### 3.2.3 – Seleção das grandezas a observar

Tendo em conta o valor obtido para o índice de risco global e as especificidades do local da barragem e da própria obra preconizou-se o monitoramento das seguintes grandezas:

- deslocamentos superficiais;
- deslocamentos internos;
- níveis hidráulicos (tensões neutras);
- vazão parcial;
- níveis do reservatório.

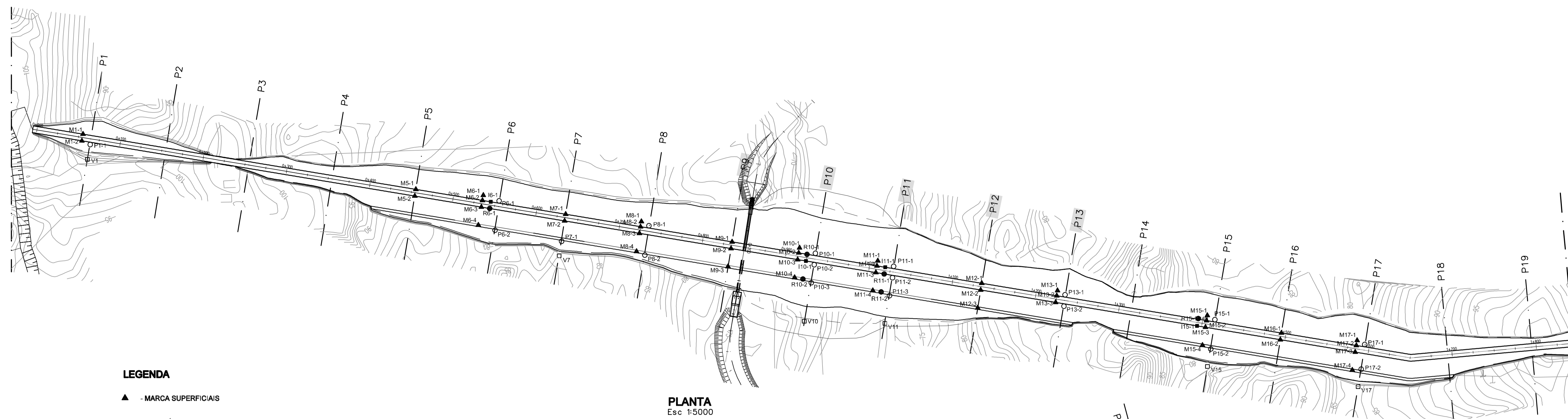
### 3.2.4 – Dispositivos de monitoramento

Para as grandezas referenciadas, recomendou-se a instalação dos seguintes dispositivos de observação ([Figuras 3.1 e 3.2](#)):

- Marcas superficiais;
- Inclínómetros e medidores de recalque;
- Piezómetros hidráulicos;
- Medidores de vazão;
- Escalas limnimétricas.

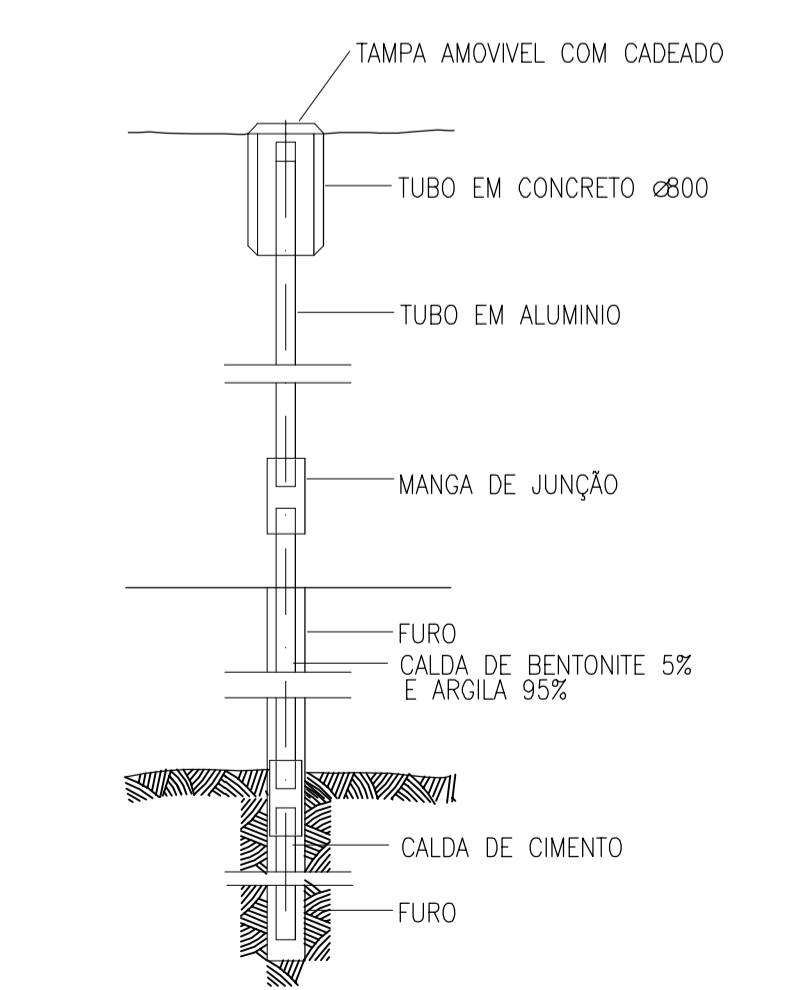
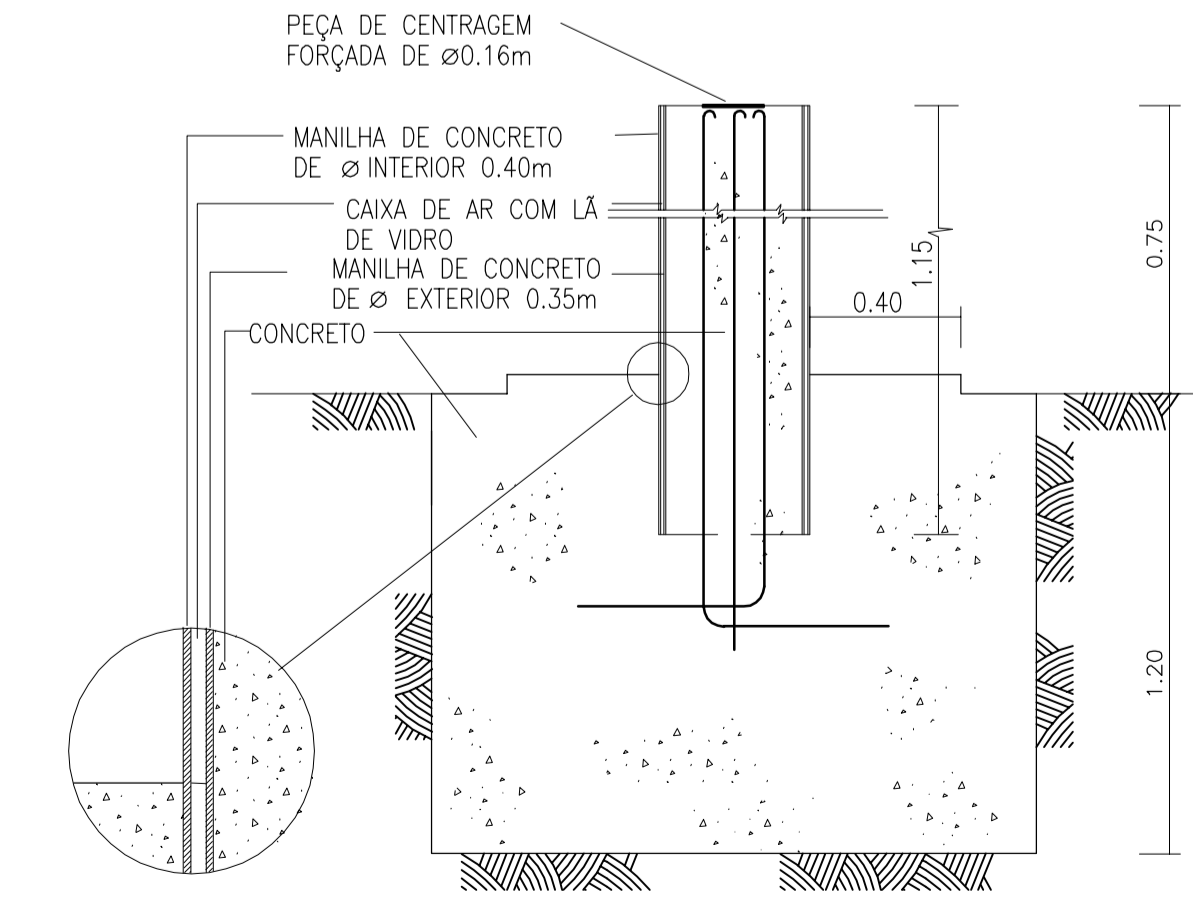
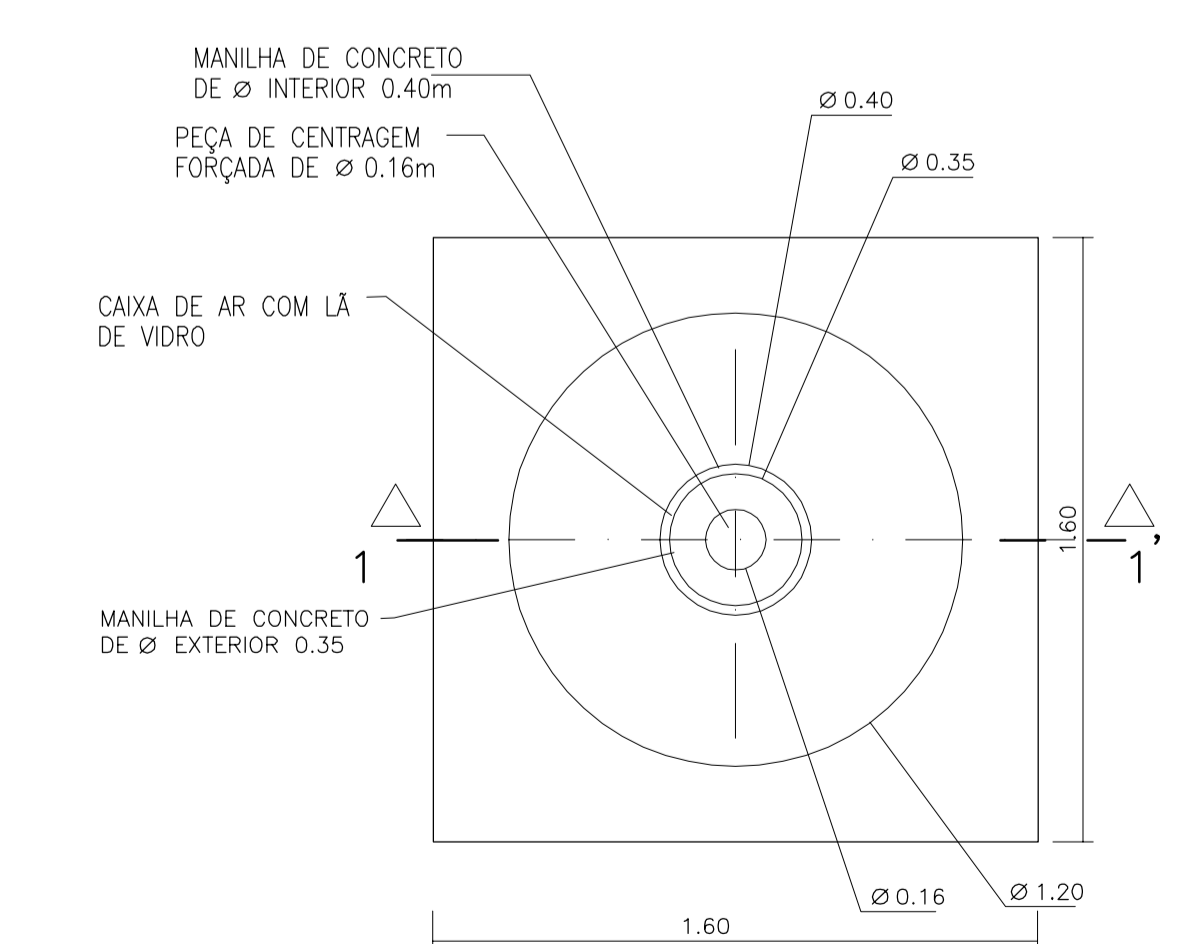
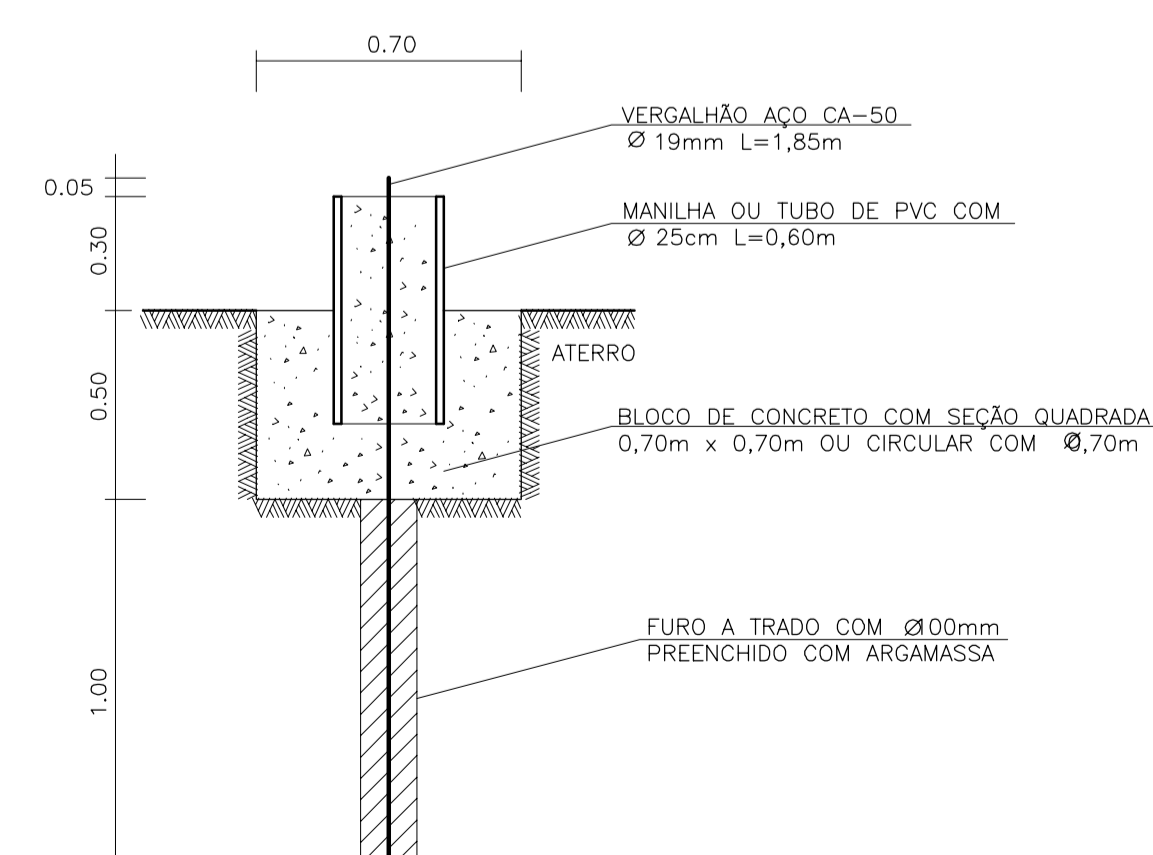
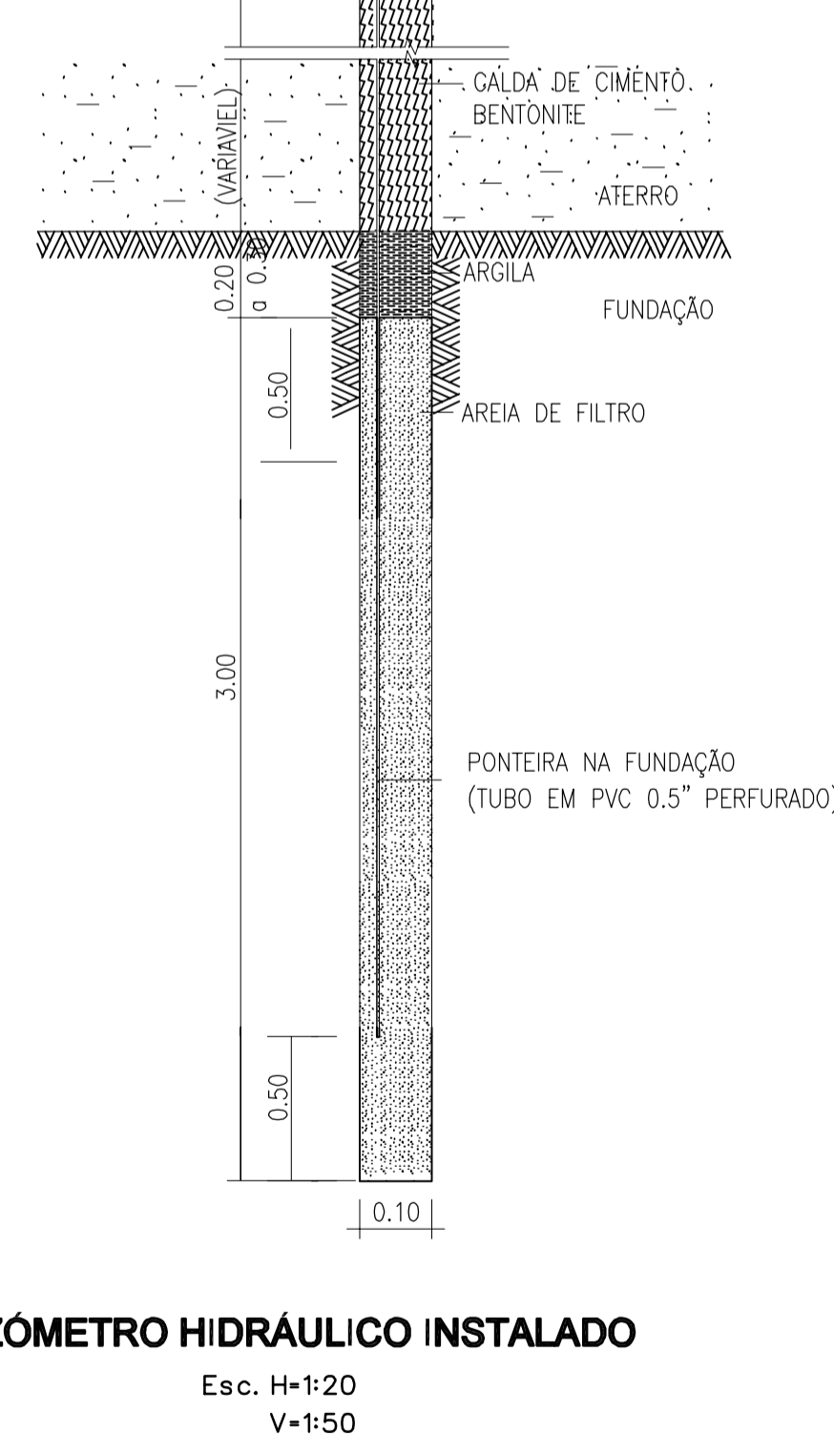
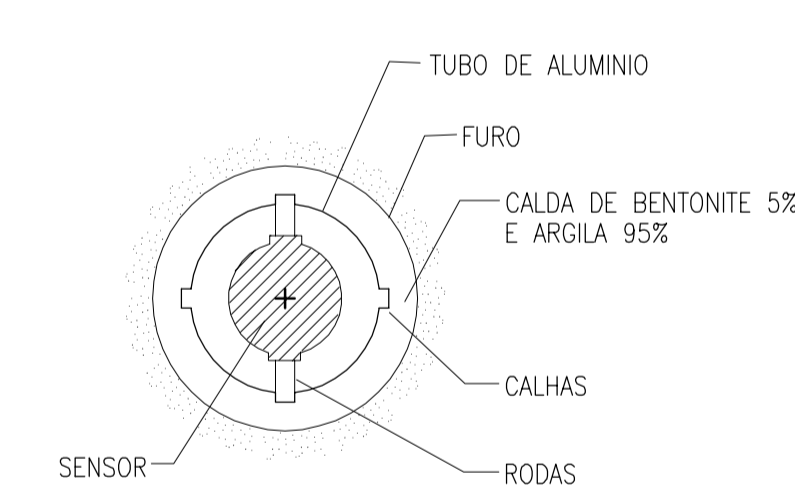
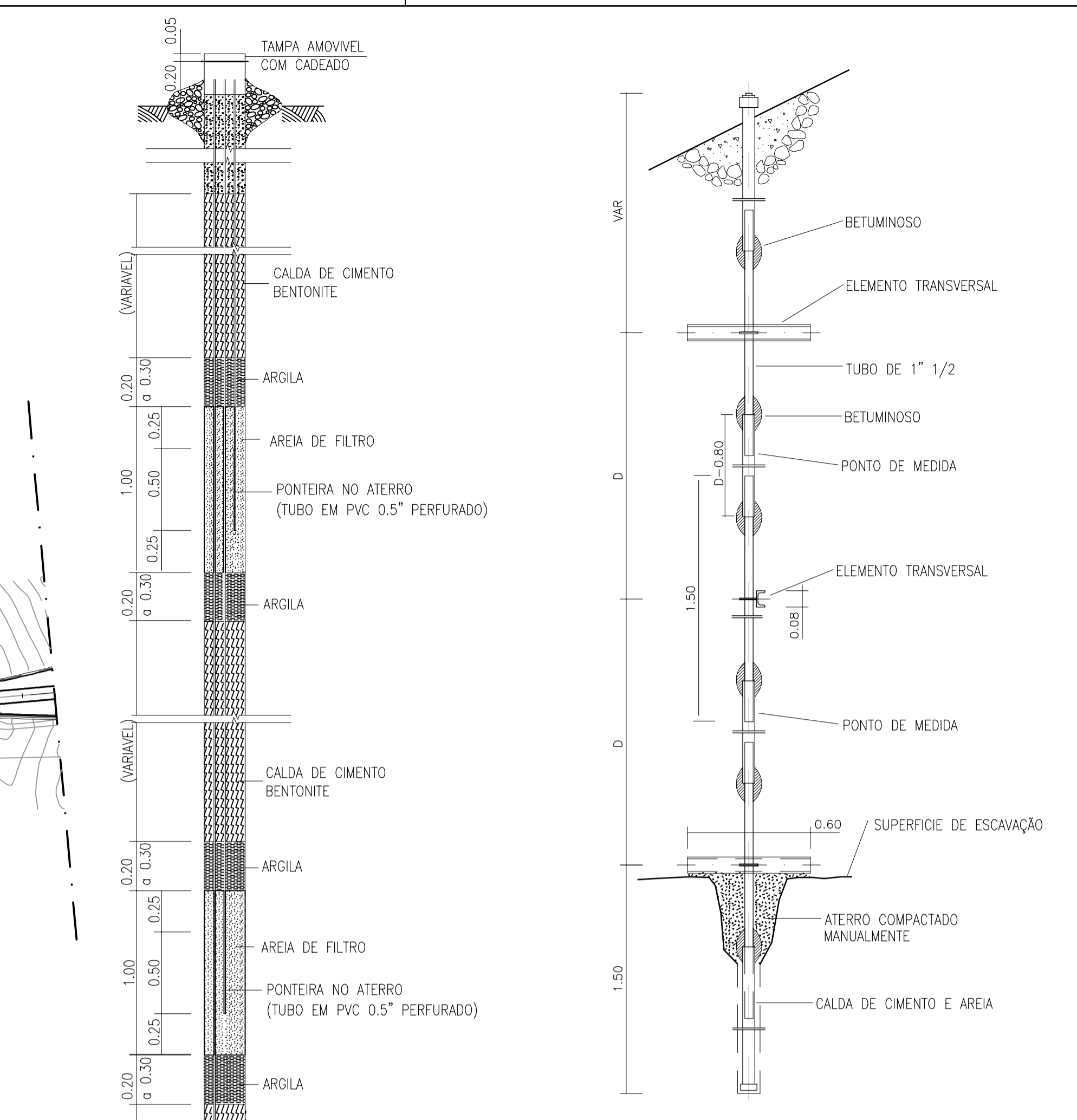
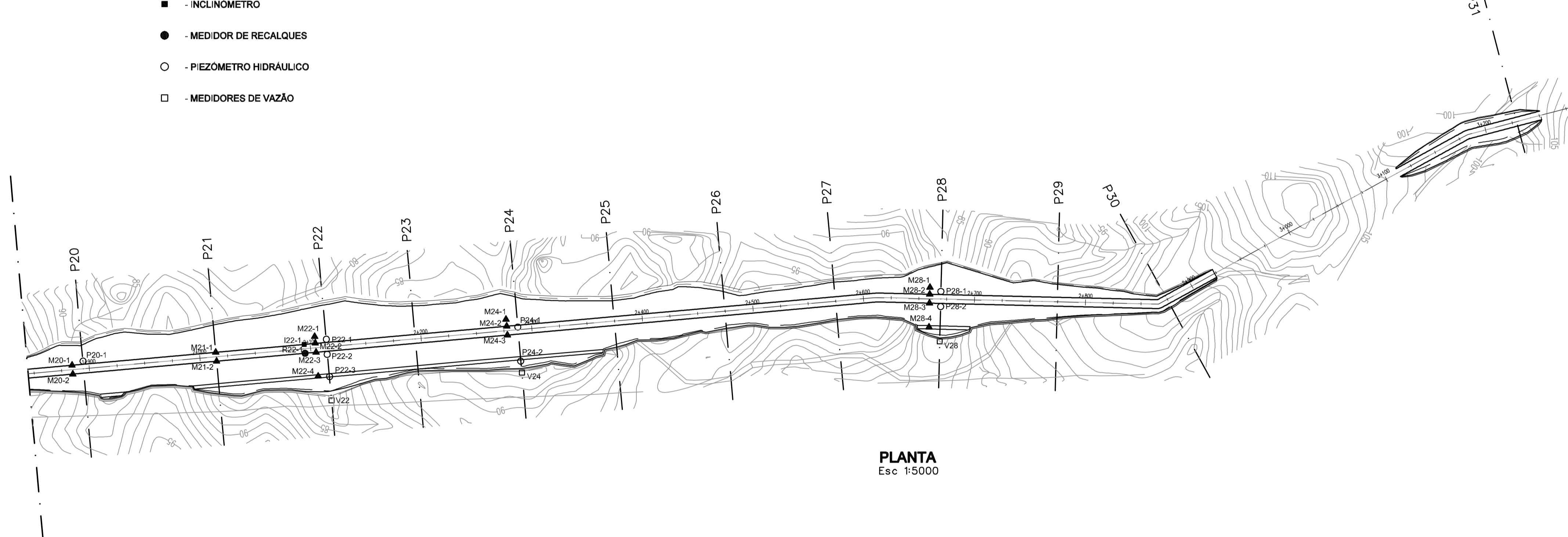
A concepção do plano de monitoramento, designadamente a definição da quantidade de dispositivos, sua localização e tipo, visou uma adequada caracterização das diferentes grandezas, por forma a que estas sejam representativas do comportamento global da obra, ao longo da sua vida.

No [Quadro 3.2](#) apresenta-se o número de dispositivos que, face à extensão da obra e especificidades, se consideram necessários para o adequado acompanhamento do seu comportamento.

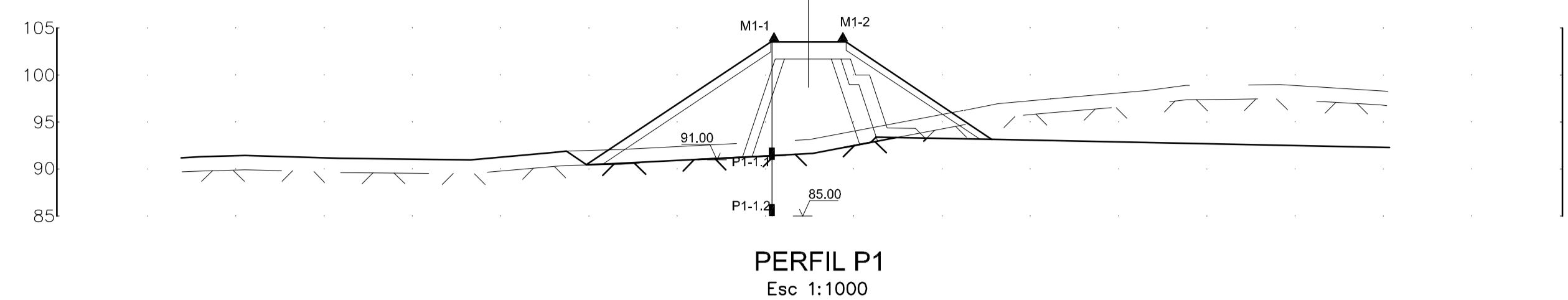


**LEGENDA**

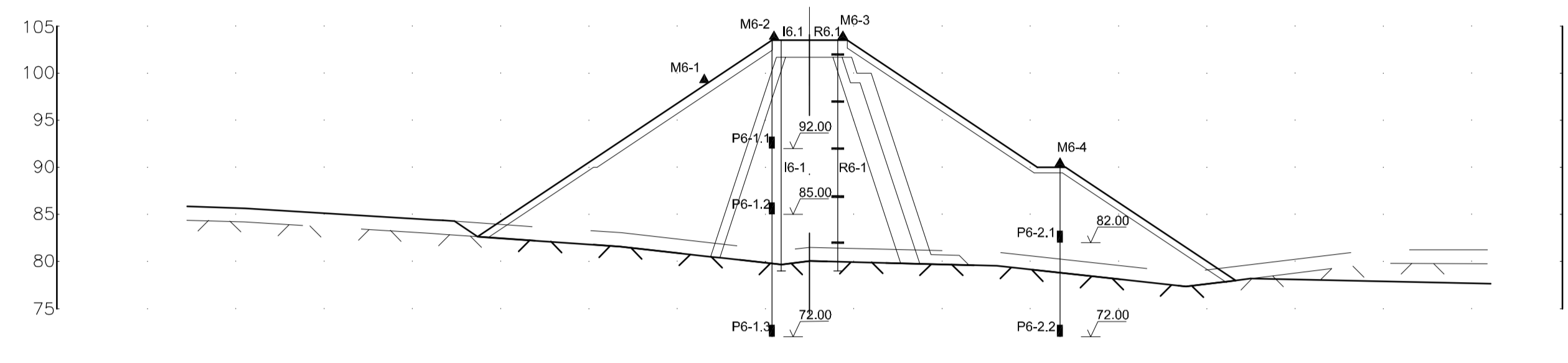
- ▲ - MARCA SUPERFICIAIS
- - INCLINOMETRO
- - MEDIDOR DE RECALQUES
- - PIEZOMETRO HIDRAULICO
- - MEDIDORES DE VAZÃO



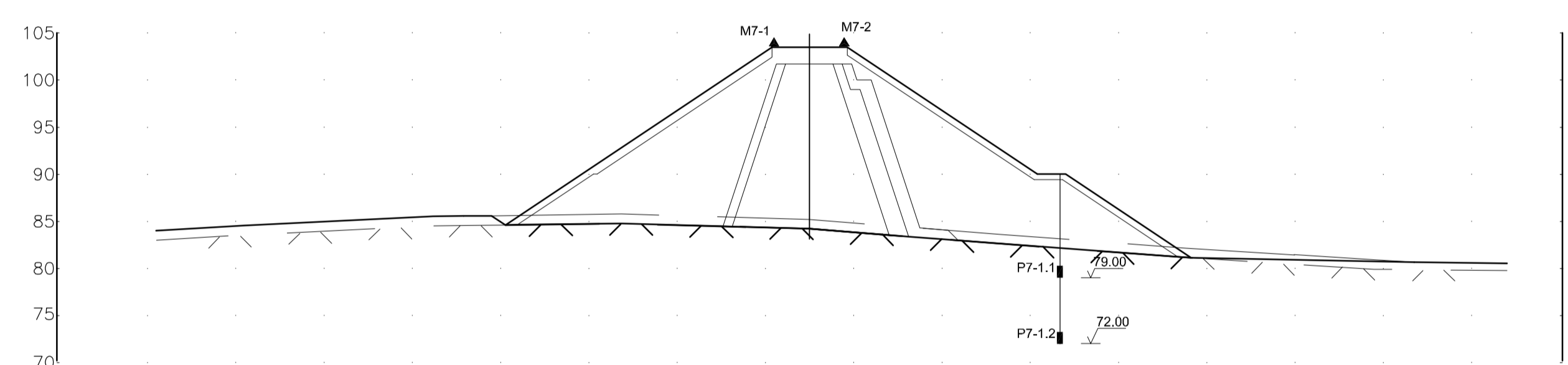
	<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH PROÁGUA/SEM-ÁRIDO BARRAGEM FIGUEIREDO		
	FASE VIII - PLANOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO		
TÍTULO:	FIGURA 3.1 MONITORIZAÇÃO - PLANTA GERAL E PORMENORES		
ESCALA INDICADA:	DATA:	CONTRATO:	Nº DO DESENHO:
	NOV/2002		0854-FE-40-002-023



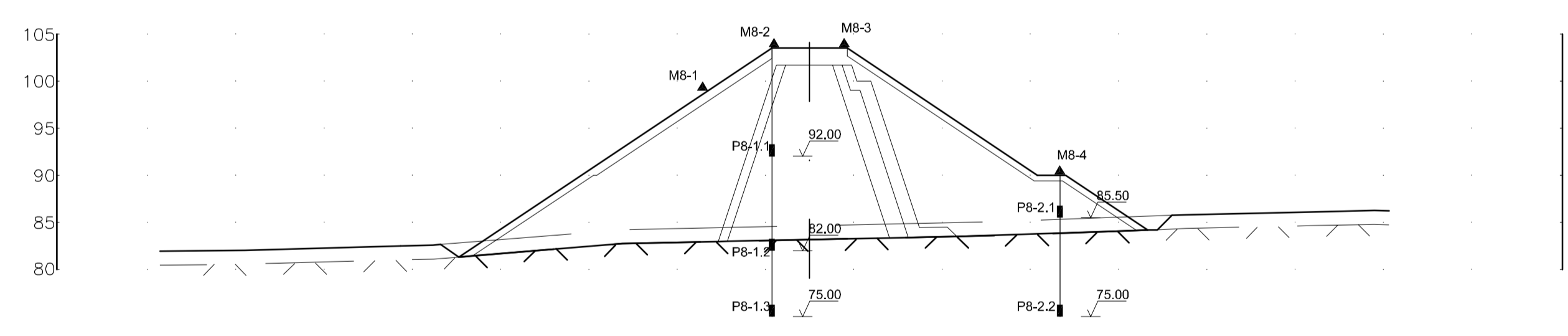
PERFIL P1  
Esc 1:1000



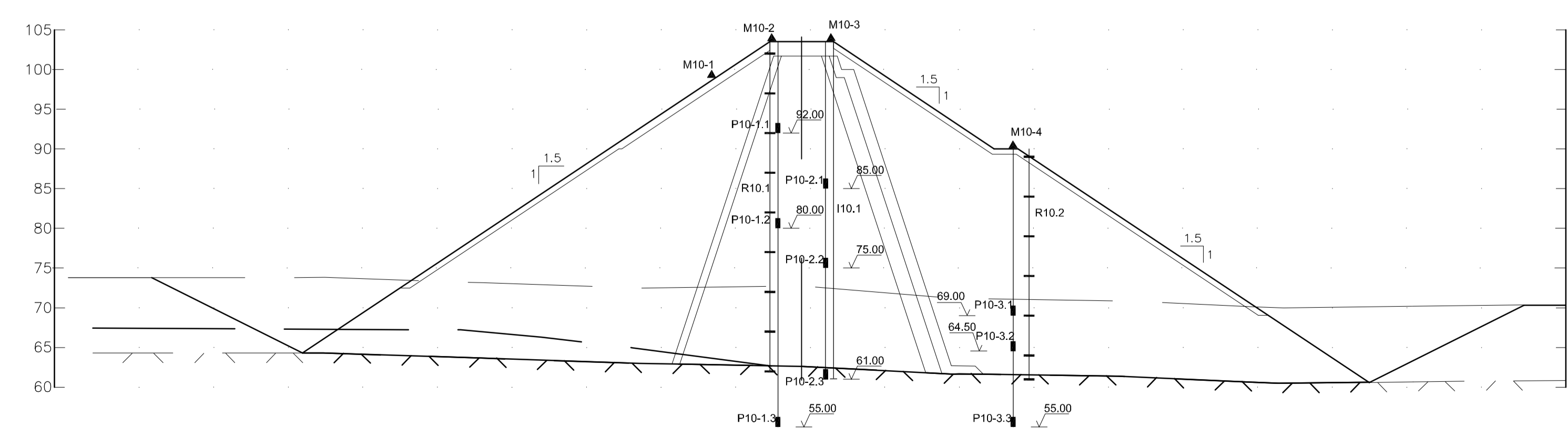
PERFIL P6  
Esc 1:1000



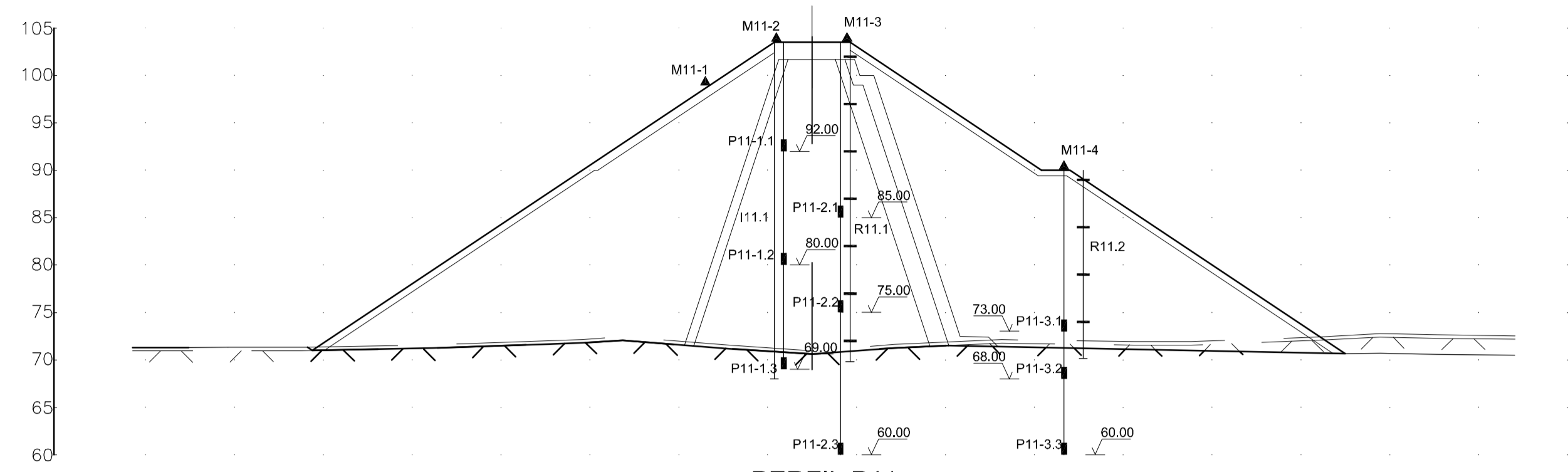
PERFIL P7  
Esc 1:1000



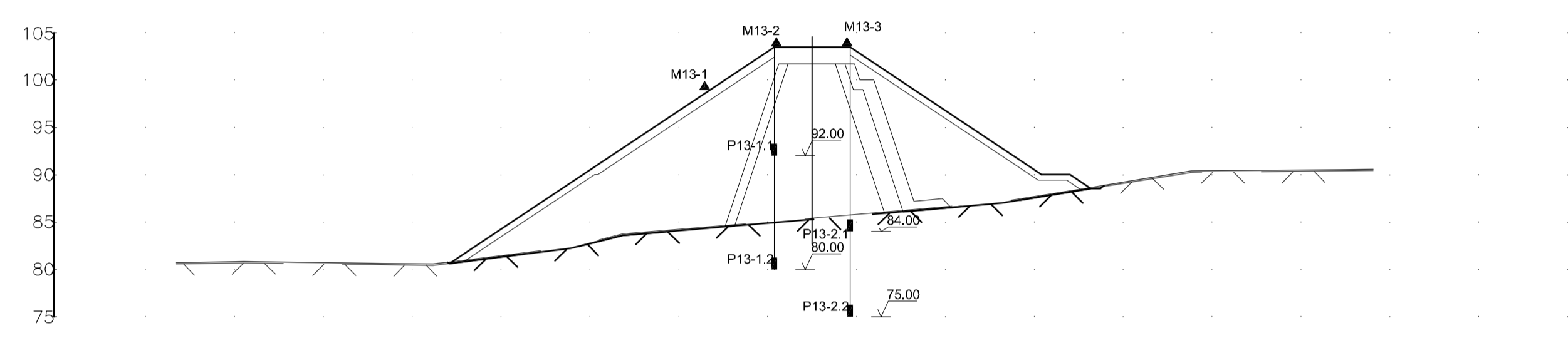
PERFIL P8  
Esc 1:1000



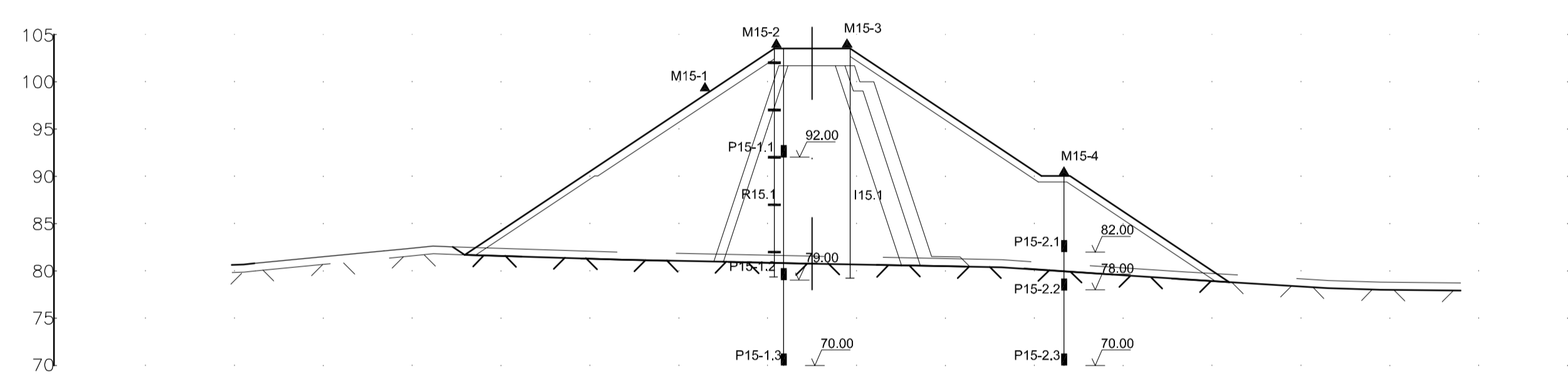
PERFIL P10  
Esc 1:1000



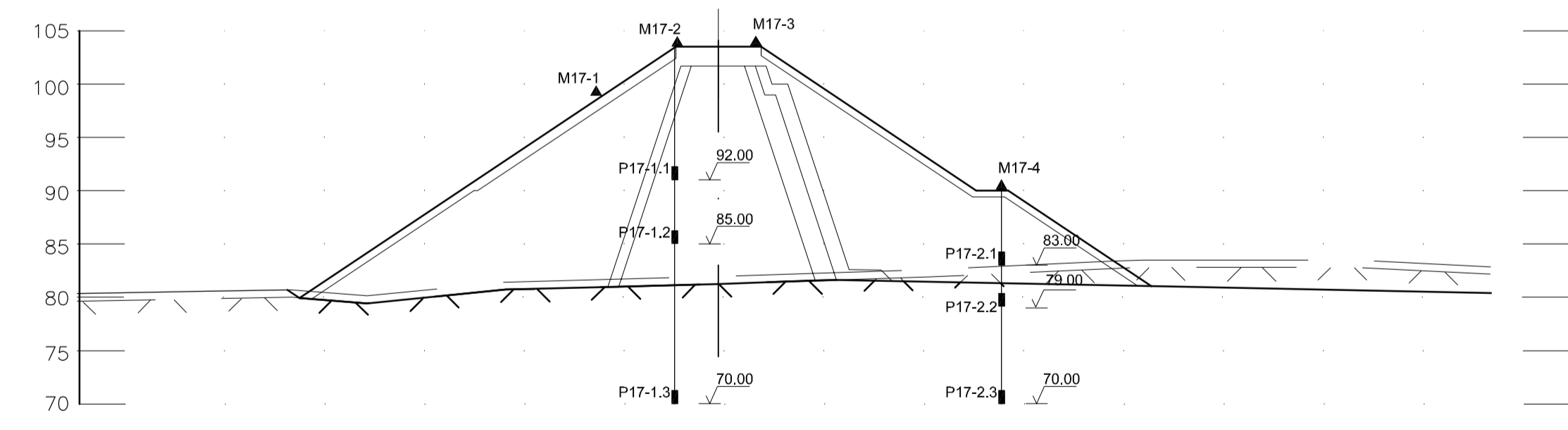
PERFIL P11  
Esc 1:1000



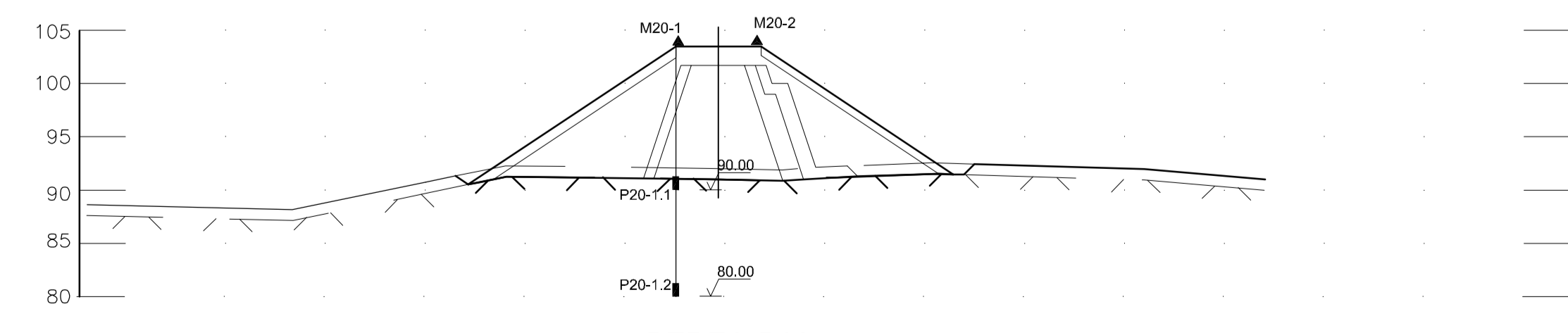
PERFIL P13  
Esc 1:1000



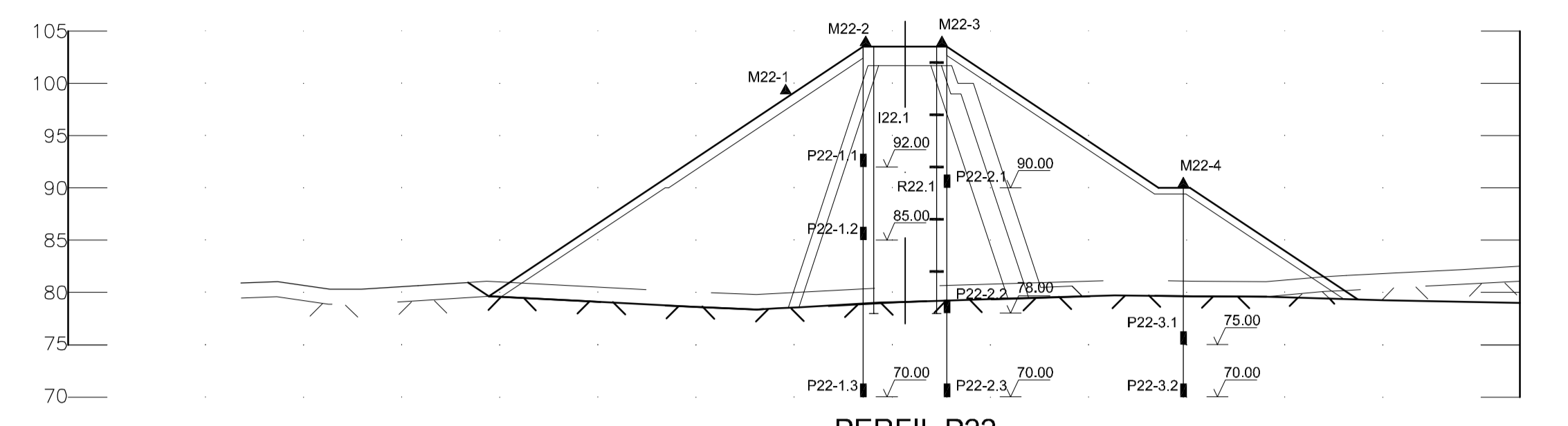
PERFIL P15  
Esc 1:1000



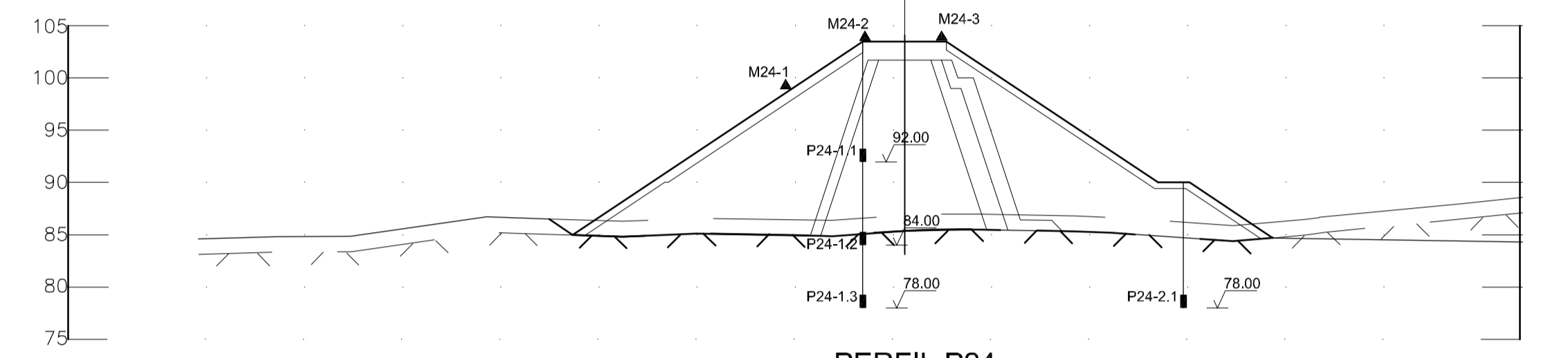
PERFIL P17  
Esc 1:1000



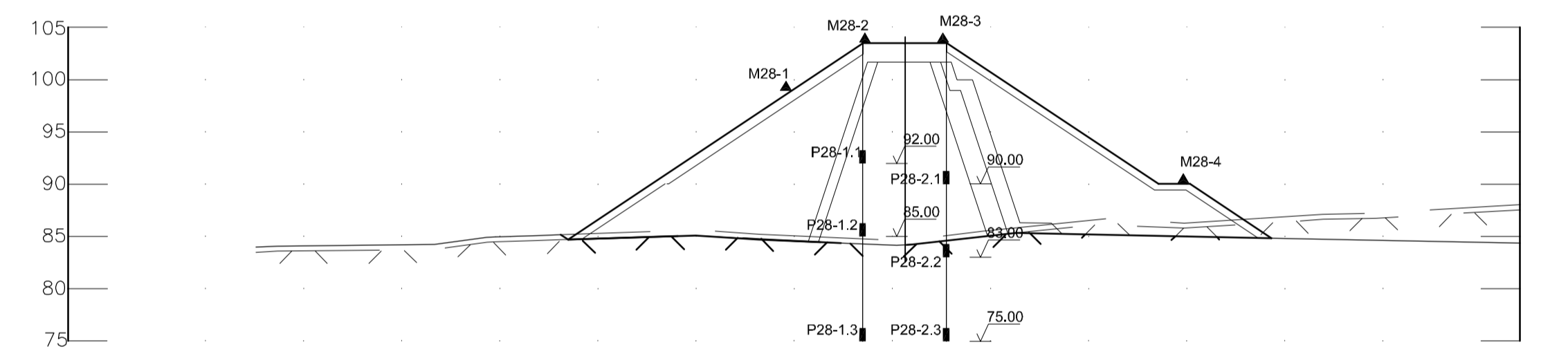
PERFIL P20  
Esc 1:1000



PERFIL P22  
Esc 1:1000




PERFIL P24  
Esc 1:1000



PERFIL P28  
Esc 1:1000

LEGENDA

- ▲ MARCAS SUPERFICIAIS
- PIEZÔMETROS HIDRÁULICOS
- ∟ INCLINÔMETROS
- + MEDIDORES DE RECALQUE

 	<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH		
	PROÁGUA/SEM-ÁRIDO BARRAGEM FIGUEIREDO		
FASE VIII - PLANOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO			
TÍTULO:		FIGURA 3.2 MONITORIZAÇÃO - PERFIS TRANSVERSAIS	
ESCALA: 1:1000	DATA: NOV/2002	CONTRATO:	Nº DO DESENHO: 0834-FE-40-002-024

### Quadro 3.2 – Dispositivos de Monitoramento

Dispositivos	Quantidade
Marcas superficiais	56
Inclinómetros	5
Medidores de recalques	7
Piezómetros hidráulicos	26
Medidores de vazão	9+1
Escalas limnimétricas	2

As cotas dos diversos dispositivos de monitoramento indicadas, em particular as ponteiras dos piezómetros, são cotas aproximadas que deverão ser tidas como referência para os respectivos trabalhos de instalação. Os trabalhos de execução associados ao saneamento da fundação e em particular o levantamento de ressurgências, serão elementos fundamentais na retificação ou ratificação do plano de monitoramento definido.

#### Marcas superficiais

Com a função de controlar os deslocamentos superficiais serão instaladas marcas superficiais no paramento de montante, acima do NNR, no coroamento, quer a montante quer a jusante, e na banquetta de jusante, perfazendo um total de 56 marcas. Serão ainda colocados os pilares de referência necessários, localizados em zonas a definir em obra, de adequada visibilidade e condições de fundação.

No Quadro 3.3 apresenta-se a identificação e localização das marcas superficiais a instalar.

Prevê-se a instalação de marcas ao longo de todo o desenvolvimento longitudinal da obra. Nas zonas de maior altura do aterro as marcas serão instaladas em perfis transversais distanciados entre si cerca de 100 m, aumentando este espaçamento com a redução da altura de aterro.

As marcas instaladas no talude de montante, à cota (99,5), num total de 10, distribuídas pelos perfis de maior altura, terão como função permitir avaliar a influência da molhagem dos materiais do maciço estabilizador de montante com a subida do nível no reservatório, em particular, durante o primeiro enchimento. Estes dispositivos serão instalados assim que os aterros atingirem a cota de instalação referida.

**Quadro 3.3 - Identificação das Marcas Superficiais**

<b>Perfil</b>	<b>Identificação</b>	<b>Cota</b>	<b>Localização</b>
1	M1-1	(103,5)	Coroamento, a montante
	M1-2	(103,5)	Coroamento, a jusante
5	M5-1	(103,5)	Coroamento, a montante
	M5-2	(103,5)	Coroamento, a jusante
6	M6-1	(99,5)	Talude de montante
	M6-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M6-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M6-4	(90,0)	Banqueta de jusante
7	M7-1	(103,5)	Coroamento, a montante
	M7-2	(103,5)	Coroamento, a jusante
8	M8-1	(99,5)	Talude de montante
	M8-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M8-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M8-4	(90,0)	Banqueta de jusante
9	M9-1	(103,5)	Coroamento, a montante
	M9-2	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M9-3	(90,0)	Banqueta de jusante
10	M10-1	(99,5)	Talude de montante
	M10-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M10-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M10-4	(90,0)	Banqueta de jusante
11	M11-1	(99,5)	Talude de montante
	M11-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M11-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M11-4	(90,0)	Banqueta de jusante
12	M12-1	(103,5)	Coroamento, a montante
	M12-2	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M12-3	(90,0)	Banqueta de jusante
13	M13-1	(99,5)	Talude de montante
	M13-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M13-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
15	M15-1	(99,5)	Talude de montante
	M15-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M15-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M15-4	(90,0)	Banqueta de jusante
16	M16-1	(103,5)	Coroamento, a montante
	M16-2	(103,5)	Coroamento, a jusante
17	M17-1	(99,5)	Talude de montante
	M17-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M17-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M17-4	(90,0)	Banqueta de jusante

**Quadro 3.3 - Identificação das Marcas Superficiais (Cont.)**

Perfil	Identificação	Cota	Localização
20	M20-1	(103,5)	Coroamento, a montante
	M20-2	(103,5)	Coroamento, a jusante
21	M21-1	(103,5)	Coroamento, a montante
	M21-2	(103,5)	Coroamento, a jusante
22	M22-1	(99,5)	Talude de montante
	M22-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M22-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M22-4	(90,0)	Banqueta de jusante
24	M24-1	(99,5)	Talude de montante
	M24-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M24-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
28	M28-1	(99,5)	Talude de montante
	M28-2	(103,5)	Coroamento, a montante
	M28-3	(103,5)	Coroamento, a jusante
	M28-4	(90,0)	Banqueta de jusante

De referir que se preconizou no Projeto a compactação dos aterros dos maciços, em particular do maciço estabilizador de montante, com água abundante, de forma a prevenir eventuais colapsos associados à saturação dos materiais de enrocamento durante o primeiro enchimento do reservatório.

As marcas situadas no coroamento, a instalar após a conclusão da subida do aterro, num total de 36 dispositivos, permitirão controlar os deslocamentos na zona de maior altura da seção transversal, controlando essencialmente o assentamento do núcleo, zona de maior deformabilidade do aterro.

As marcas na banquetta de jusante – num total de 10 – permitirão acompanhar os assentamentos do maciço estabilizador de jusante. Estas marcas serão instaladas assim que os aterros atingirem a cota de instalação dos dispositivos em causa.

De referir que as marcas superficiais são dispositivos de fácil instalação e leitura e de reduzido custo, que muito contribuem para o adequado acompanhamento do comportamento da obra.

### Inclinómetros

Prevê-se a instalação de 5 inclinómetros para medição de deslocamentos horizontais internos do aterro. Estes dispositivos serão instalados a partir do coroamento em cinco dos perfis de maior altura da barragem, coincidentes com os perfis de observação dos deslocamentos

verticais internos. Face à maior magnitude dos deslocamentos horizontais expectáveis a montante, 3 dos dispositivos serão instalados a partir do coroamento, a montante, e apenas 2 a jusante. No Quadro 3.4 faz-se referência à identificação e localização dos inclinómetros.

**Quadro 3.4 - Identificação dos Inclinómetros**

Perfil	Identificação	Localização No Perfil
6	I6.1	Instalado a partir do coroamento a montante
10	I10.1	Instalado a partir do coroamento a jusante
11	I11.1	Instalado a partir do coroamento a montante
15	I15.1	Instalado a partir do coroamento a jusante
22	I22.1	Instalado a partir do coroamento a montante

Os inclinómetros serão instalados após a conclusão dos aterros e deverão ficar encastrados na fundação, sendo essenciais no acompanhamento do comportamento da obra durante o primeiro enchimento do reservatório, fase crítica da vida da barragem.

Os inclinómetros deverão ficar encastrados na fundação, em zonas de deformabilidade desprezável.

#### Medidores de Recalque

Prevê-se a colocação de 7 medidores de recalque, cuja identificação é efetuada no Quadro 3.5. Estes dispositivos permitem determinar os deslocamentos verticais internos sofridos pelo aterro da barragem ao longo da construção e, após esta, durante o primeiro enchimento e fase de exploração.

A seleção dos perfis a instrumentar, em número de 5, foi essencialmente condicionada pela altura do aterro, já que a deformabilidade da fundação é, no caso da barragem, desprezável. Foram ainda selecionados os perfis de maior altura representativos dos boqueirões principais. Preconizou-se a instalação de 5 medidores de recalque no núcleo, em alinhamentos verticais coincidentes com as extremidades de montante ou de jusante do coroamento, e de 2 dispositivos no maciço estabilizador de jusante, em alinhamentos coincidentes com a banquetta à cota (90,0).

A instalação dos medidores de recalque acompanhará a subida do aterro.

Todos os medidores deverão ficar encastrados na fundação, em zonas de deformabilidade desprezável.

**Quadro 3.5 - Identificação dos Medidores de Recalque**

<b>Perfil</b>	<b>Identificação</b>	<b>Travessas</b>	<b>Cotas</b>	<b>Localização no Perfil</b>
Perfil 6	R6.1 Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (79)	R6.1-1	(82,0)	Núcleo
		R6.1-2	(87,0)	
		R6.1-3	(92,0)	
		R6.1-4	(97,0)	
		R6.1-5	(102,0)	
Perfil 10	R10.1 Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (61,5)	R10.1-1	(67,0)	Núcleo
		R10.1-2	(72,0)	
		R10.1-3	(77,0)	
		R10.1-4	(82,0)	
		R10.1-5	(87,0)	
		R10.1-6	(92,0)	
		R10.1-7	(97,0)	
		R10.1-8	(102,0)	
	R10.2 Instalado a partir da banquetta de jusante e fundado à cota (68)	R10.2-1	(64,0)	Maciço de jusante
		R10.2-2	(69,0)	
		R10.2-3	(74,0)	
		R10.2-4	(79,0)	
R10.2-5		(84,0)		
R10.2-6		(89,0)		
Perfil 11	R11.1 Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (68)	R11.1-1	(72,0)	Núcleo
		R11.1-2	(77,0)	
		R11.1-3	(82,0)	
		R11.1-4	(87,0)	
		R11.1-5	(92,0)	
		R11.1-6	(97,0)	
		R11.1-7	(102,0)	
	R11.2 Instalado a partir da banquetta de jusante fundado à cota (70)	R11.2-1	(74,0)	Maciço de jusante
		R11.2-2	(79,0)	
		R11.2-3	(84,0)	
R11.2-4		(89,0)		
Perfil 15	R15.1 Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (79)	R15.1-1	(82,0)	Núcleo
		R15.1-2	(87,0)	
		R15.1-3	(92,0)	
		R15.1-4	(97,0)	
		R15.1-5	(102,0)	
Perfil 22	R22.1 Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (78)	R22.1-1	(82,0)	Núcleo
		R22.1-2	(87,0)	
		R22.1-3	(92,0)	
		R22.1-4	(97,0)	
		R22.1-5	(102,0)	



### Piezômetros hidráulicos

Com o objetivo de controlar os níveis hidráulicos (e, indiretamente, as pressões neutras) serão instalados 26 piezômetros hidráulicos no aterro e na fundação. A instalação será feita a partir do coroamento ou a partir da banqueteta de jusante, em 13 perfis representativos das condições hidráulicas ocorrentes ao longo do desenvolvimento da barragem, de acordo com o indicado no Quadro 3.6. Foram essencialmente privilegiados os perfis com maior carga hidráulica ou aqueles aos quais correspondem resultados dos ensaios de injeção de água na fundação mais desfavoráveis.

**Quadro 3.6 - Identificação dos Piezômetros Hidráulicos**

Perfil	Identificação		Cota da Ponteira	Instalação / Cota	Localização no Perfil
	Piez.	Ponteira			
Perfil 1	P1.1	P1.1-1	(91,0)	Coroamento - (103,5)	Interface fundação – aterro
		P1.1-2	(85,0)		Fundação
Perfil 6	P6.1	P6.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P6.1-2	(85,0)		Fundação
		P6.1-3	(72,0)		Fundação
	P6.2	P6.2-1	(82,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	Maciço de jusante
P6.2-2		(72,0)	Fundação		
Perfil 7	P7.1	P7.1-1	(79,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	Fundação
		P7.1-2	(72,0)		
Perfil 8	P8.1	P8.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P8.1-2	(82,0)		Interface fundação – aterro
		P8.1-3	(75,0)		Fundação
	P8.2	P8.2-1	(85,5)	Banqueta de jusante (90,0)	Maciço de jusante
		P8.2-2	(75,0)		Fundação
Perfil 10	P10.1	P10.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P10.1-2	(80,0)		Fundação
		P10.1-3	(55,0)		Fundação
	P10.2	P10.2-1	(85,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P10.2-2	(75,0)		Interface núcleo - fundação
		P10.2-3	(61,0)		Maciço de jusante
	P10.3	P10.3-1	(69,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	Interface fundação – dreno
		P10.3-2	(64,5)		Fundação
		P10.3-3	(55,0)		Fundação

**Quadro 3.6 - Identificação dos Piezômetros Hidráulicos (Cont.)**

Perfil	Identificação		Cota da Ponteira	Instalação / Cota	Localização no Perfil
	Piez.	Ponteira			
Perfil 11	P11.1	P11.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P11.1-2	(80,0)		Interface fundação – núcleo
		P11.1-3	(69,0)		
	P11.2	P11.2-1	(85,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P11.2-2	(75,0)		Fundação
		P11.2-3	(60,0)		
	P11.3	P11.3-1	(73,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	Maciço de jusante
		P11.3-2	(68,0)		Fundação
		P11.3-3	(60,0)		
Perfil 13	P13.1	P13.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P13.1-2	(80,0)		Fundação
	P13.2	P13.2-1	(84,0)	Coroamento - (103,5)	Interface fundação – núcleo
		P13.2-2	(75,0)		Fundação
Perfil 15	P15.1	P15.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P15.1-2	(79,0)		Interface fundação – aterro
		P15.1-3	(70,0)		Fundação
	P15.2	P15.2-1	(82,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	Maciço de jusante
		P15.2-2	(78,0)		Interface fundação – dreno
		P15.2-3	(70,0)		Fundação
Perfil 17	P17.1	P17.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P17.1-2	(85,0)		Fundação
		P17.1-3	(70,0)		
	P17.2	P17.2-1	(83,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	Maciço de jusante
		P17.2-2	(79,0)		Interface fundação – dreno
		P17.2-3	(70,0)		Fundação
Perfil 20	P20.1	P20.1-1	(90,0)	Coroamento - (103,5)	Interface fundação – núcleo
		P20.1-2	(80,0)		Fundação
Perfil 22	P22.1	P22.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P22.1-2	(85,0)		Fundação
		P22.1-3	(70,0)		
	P22.2	P22.2-1	(90,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P22.2-2	(78,0)		Interface fundação – núcleo
		P22.2-3	(70,0)		Fundação
	P22.3	P22.3-1	(75,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	Fundação
		P22.3-2	(70,0)		
Perfil 24	P24.1	P24.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P24.1-2	(84,0)		Interface fundação – núcleo
		P24.1-3	(78,0)		Fundação
	P24.2	P24.2-1	(78,0)	Banqueta de jusante (90,0)	Fundação

**Quadro 3.6 - Identificação dos Piezômetros Hidráulicos (Cont.)**

Perfil	Identificação		Cota da Ponteira	Instalação / Cota	Localização no Perfil
	Piez.	Ponteira			
Perfil 28	P28.1	P28.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P28.1-2	(85,0)		Fundação
		P28.1-3	(75,0)		
	P28.2	P28.2-1	(90,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P28.2-2	(83,0)		Interface fundação – núcleo
		P28.2-3	(75,0)		Fundação

A instalação dos piezômetros hidráulicos será realizada após a execução dos aterros até à cota prevista para a sua boca.

Serão instalados, no máximo, três piezômetros hidráulicos por furo, com trechos de captação a diferentes cotas. Os piezômetros que ficam instalados no núcleo possibilitam o acompanhamento da evolução da linha de saturação e a observação dos níveis hidráulicos durante a exploração da obra, fazendo-se através dos piezômetros que ficam instalados na fundação e no contato aterro-fundação o controlo dos respectivos níveis hidráulicos. O contato aterro-fundação deve ser objeto de atenção particular, visando a detecção atempada de eventuais fenômenos anormais que possam conduzir, designadamente, a processos de erosão interna.

Os piezômetros instalados no maciço estabilizador a partir da banquetta de jusante permitirão identificar eventuais subidas do nível freático no maciço estabilizador.

#### Medidores de vazão

A vazão percolada pelo aterro e fundação será controlada a jusante da área de implantação da obra, no leito do rio Figueiredo, através de uma seção de controlo materializada por um pequeno açude em concreto e nas saídas da drenagem nos diversos boqueirões secundários, coincidentes com linhas de água, através de 9 medidores de vazão.

#### Escalas limnimétricas

O controle do nível atingido pela água do reservatório deverá ser feito através de duas escalas limnimétricas, graduadas, com o zero devidamente referenciado, localizadas em sítios visíveis e de fácil acesso, uma na estrutura da tomada de água e outra no vertedouro.

### 3.2.5 – Freqüência de leituras

A periodicidade de leitura dos dispositivos de observação está relacionada com as fases de vida da obra - construção, primeiro enchimento, exploração e rebaixamento rápido – e é função do tipo e dimensão da barragem, das características do local e dos aspectos específicos da obra.

Tendo em conta os fatores referidos, definiram-se no Plano de Monitoramento as freqüências de leitura para cada tipo de dispositivo que se reproduzem no Quadro 3.7.

**Quadro 3.7 – Medição de grandezas. freqüência recomendada**

Instrumentação	Fase de Construção	1º Enchimento e Rebaixamento Rápido	5 Primeiros Anos após o 1º Enchimento	> 5 Anos após o 1º Enchimento	
Marcas superficiais	Trimestral	Semestral ou (1)	Semestral	Anual	
Inclinómetros	-	Trimestral ou (1)	Semestral	Semestral	
Medidores de recalque	Semanal	Trimestral ou (1)	Semestral	Semestral	
Piezómetros	na fundação	-	Mensal ou (1)	Trimestral	Semestral
Hidráulicos	no aterro	-	Mensal ou (1)	Trimestral	Semestral
Vazões parciais	-	Mensal ou (1)	Mensal	Mensal	
Escalas limnimétricas	Diária	Diária	Diária	Diária	

(1) - Início, patamares e fim do enchimento ou rebaixamento rápido

Relativamente ao primeiro enchimento do reservatório, por se tratar de uma das fases mais críticas da vida da obra, esta deverá ser acompanhada cuidadosamente, sendo a periodicidade das leituras ditada, em grande parte, pelo programa de enchimento definido. No período seguinte, cerca de 5 anos, os resultados dos dispositivos de monitoramento deverão conduzir a uma boa compreensão do comportamento da obra, devendo, no período subsequente, a freqüência de leituras ser reavaliada em conformidade com a análise do comportamento da obra durante os primeiros 5 anos.

As freqüências indicadas no Quadro 3.7 pressupõem uma exploração em condições normais. A ocorrência de situações extraordinárias, seja associada às ações exteriores, seja ao comportamento da estrutura em si, poderá, após análise pormenorizada, conduzir a uma adaptação da periodicidade das leituras, de forma mais ou menos temporária, consoante a situação encontrada.

### 3.2.6 - Inspeção visual

A inspeção visual é uma forma rápida e expedita de avaliar preliminarmente a segurança da obra, e pode classificar-se segundo três tipos:

- i) Inspeções de rotina, a cargo do pessoal responsável pela exploração da obra/sistema de monitoramento;
- ii) Inspeções especiais, a cargo dos responsáveis pela elaboração dos relatórios sobre o comportamento da barragem;
- iii) Inspeções de caráter excepcional, a cargo dos responsáveis indicados em ii), em geral, com a colaboração de uma equipe de consultores.

No Quadro 3.8 indicam-se as freqüências mínimas de inspeção visual, para as diferentes fases de vida da obra, estabelecidas tendo em conta as suas características particulares.

As inspeções de rotina deverão estar a cargo dos agentes responsáveis pela exploração e monitoramento da barragem e as inspeções de especialidade a cargo dos responsáveis pela elaboração dos relatórios de comportamento da barragem. As inspeções de caráter excepcional são obrigatórias após ocorrências excepcionais, como por exemplo, sismos importantes, grandes cheias e rebaixamento totais ou quase totais do reservatório.

**Quadro 3.8 - Inspeção Visual - Freqüências recomendadas**

Fase de Vida	Inspeções Visuais		
	Rotina	Especialidade	Excepcionais
Construção	Semanal	Mensal	(1)
1º enchimento e rebaixamento rápido	(2) ou Mensal	(2) ou Anual	(1)
Exploração - primeiro período	Mensal	Anual	(1)
Exploração - período posterior	Trimestral	Anual	(1)

(1) - Após ocorrência

(2) - Início e fim do 1º enchimento ou rebaixamento rápido e no início e final de cada patamar do 1º enchimento.

Considera-se, no caso da Barragem de Figueiredo, que as inspeções de caráter excepcional em fase de exploração devem ser sempre realizadas após ocorrências excepcionais, designadamente, após a ocorrência de cheias com períodos de retorno superiores a 100 anos,

sismos com magnitude, na escala de Richter, superior a 5 e rebaixamentos totais do reservatório.

Em fase de construção e de primeiro enchimento, as inspeções de carácter excepcional deverão ser feitas após ocorrências excepcionais para essa fase da obra, designadamente, cheias com períodos de retorno iguais ou superiores a 50 anos e quaisquer ocorrências sísmicas.

A inspeção deve ser feita ao nível da observação direta quer dos aspectos gerais da obra, quer de aspectos particulares potencialmente indiciadores de deteriorações e/ou comportamentos anômalos e da leitura dos aparelhos de monitoramento.

Duma maneira geral, os aspectos a ter em particular atenção na inspeção da barragem são:

- a parte emersa do paramento de montante, verificando a eventual ocorrência de perturbações no enrocamento de proteção, de assentamentos em zonas localizadas, etc;
- o coroamento, verificando a eventual ocorrência de fissuras, fendas e assentamentos diferenciais;
- o paramento de jusante, verificando a eventual ocorrência perturbações no enrocamento de proteção, assentamentos em zonas localizadas, ressurgências, desnivelamentos e desalinhamentos da banqueteta ou outras perturbações;
- a superfície de inserção da barragem na fundação a jusante, verificando a eventual ocorrência de ressurgências e modificações do alinhamento e/ou nivelamento das valetas de drenagem;
- zonas do reservatório onde se possam verificar perdas de água importantes ou interação direta com a barragem;
- a zona de jusante próxima da barragem, verificando a eventual ocorrência de assentamentos, erosões ou ressurgências;
- os órgãos hidráulicos, verificando a eventual ocorrência de modificações de posicionamento e deteriorações nas estruturas ou nos equipamentos e verificação de eventuais indícios de passagens de água preferenciais ou sinais incipientes de erosão interna em terrenos confinantes.
- sistema de monitoramento, verificando, designadamente, a sua integridade e funcionalidade.

Durante a fase de construção, as inspeções incidirão sobre as partes da obra anteriormente explicitadas que estejam já realizadas e incluirão, em particular, inspeção ao controlo da

qualidade de construção, função da fase de construção em que a obra se encontre, e, ainda, observações específicas relativas às referidas fases de construção, tais como, por exemplo, inerentes às condições de fundação encontradas, eventuais ressurgências detectadas, instalação de equipamentos de monitoramento, etc.

As inspeções de especialidade e excepcionais deverão analisar, pormenorizadamente, os pontos atrás referidos e proceder à verificação do bom estado de funcionamento dos equipamentos de monitoramento.

Recomenda-se a elaboração pelas respectivas entidades responsáveis de relatórios expeditos e objetivos que resumam os resultados das inspeções, cuja pormenorização dependerá do tipo de inspeção em causa, e que incluam as fichas de inspeção devidamente preenchidas e uma reportagem fotográfica.

Em Anexo apresenta-se uma ficha tipo para as inspeções de rotina à Barragem de Figueiredo.

As inspeções de carácter excepcional a realizar deverão ser procedidas da realização de um relatório que inclua, nomeadamente:

- i) a caracterização da ocorrência excepcional que ocasionou a inspeção;
- ii) os resultados da inspeção e a caracterização de eventuais deteriorações detectadas (incluindo, localização, caracterização, ficha de inspeção preenchida e reportagem fotográfica);
- iii) avaliação preliminar de segurança da obra;
- iv) indicação, se for o caso, de estudos e/ou medidas a implementar (de imediato ou a curto prazo).

Os técnicos encarregues das inspeções de rotina, de especialidade e excepcionais deverão ter experiência comprovada neste domínio.

### **3.3 – PLANO DE PRIMEIRO ENCHIMENTO**

#### **3.3.1 – Considerações iniciais**

O Plano de Primeiro Enchimento contém indicações sobre:

- i) seleção de grandezas a observar, destinadas a um controlo expedito da segurança;
- ii) inspeção visual contínua;

- iii) frequência de recolha de dados, em função do programa de enchimento do reservatório;
- iv) patamares de enchimento, se se justificar, correspondendo a cada patamar uma visita de inspeção e uma avaliação das condições de segurança.

Cada um destes itens é aqui tratado em separado de modo a sistematizar o procedimento a adotar no monitoramento do primeiro enchimento.

### **3.3.2 - Grandezas a observar**

Todas as grandezas que são objeto de monitoramento na barragem deverão ser medidas e devidamente interpretadas nas diferentes fases do primeiro enchimento. No Plano de Monitoramento (Ponto 3.2) fez-se uma descrição detalhada das grandezas objeto de leitura e respectivos dispositivos, bem como das frequências de leitura, designadamente, para a fase de primeiro enchimento.

O primeiro enchimento do reservatório da Barragem de Figueiredo deverá ser efetuado de modo lento e gradual sem subidas bruscas do nível da água.

Como princípio de base, recomenda-se ainda que, na primeira fase do enchimento (até à cota (85,0)), sempre que se verifiquem variações superiores a 3 m do nível da água no reservatório, em intervalos inferiores a uma semana, se faça uma campanha de leituras suplementar dos piezómetros hidráulicos e das vazões totais e parciais.

Na segunda fase de enchimento (acima da cota (92,0)) recomenda-se que as leituras suplementares dos equipamentos referidos se realizem sempre que se verifiquem variações superiores a 2,0 m em intervalos inferiores a uma semana.

Considera-se que os deslocamentos superficiais e internos, níveis piezométricos e vazões deverão ser objeto de medição particularmente assídua no caso em análise e, sobretudo, que deverá haver um acompanhamento sistemático de interpretação de dados.

Em princípio, prevê-se o início do primeiro enchimento no período seco. Esta fase deverá ser seguida com particular cuidado e, caso se verifiquem aflúências importantes, as frequências de leituras definidas deverão ser reavaliadas. Caso o enchimento se inicie no período úmido, dever-se-á proceder à revisão e eventual modificação das frequências de leitura (Quadro 3.7).



Neste período, particular atenção deverá ser dada às medições diárias dos níveis do reservatório e da precipitação, no sentido de antecipar subidas rápidas de nível e de agir em conformidade.

### **3.3.3 - Inspeção visual**

A inspeção visual por ser a mais imediata e expedita tem, na fase de primeiro enchimento, em que há a instalação progressiva das solicitações e se controla a resposta da obra, fundamental importância.

A inspeção deve ser feita ao nível da observação direta dos aspectos gerais da obra e ao nível de questões específicas indiciadoras de deterioração e da leitura dos dispositivos de monitoramento, de acordo com o indicado no capítulo 3.2.6.

No que se refere às inspeções de rotina a realizar pelos técnicos de monitoramento, prevê-se que sejam efetuadas com uma frequência, no mínimo, mensal e sempre que se justifique, recomendando-se a elaboração de relatórios expeditos e objetivos com uma periodicidade trimestral.

O segundo tipo de inspeção, de especialidade, mais ligado à monitorização especializada, com a verificação do bom estado de funcionamento dos equipamentos de monitoramento e a sua leitura, validação e interpretação deverá estar a cargo de uma equipe de especialistas com experiência neste tipo de trabalho.

Estas inspeções deverão ser efetuadas, no mínimo, no início e no final dos períodos de manutenção dos patamares de enchimento que se assumem verificar-se à cota (85,0) e (92,0), no final do enchimento e com uma periodicidade máxima anual.

Os técnicos encarregues das inspeções visuais de rotina e de especialidade deverão preparar, na fase que precede o primeiro enchimento e tirando partido de informações recolhidas durante a fase de construção, fichas de inspeção visual específicas da obra, adequadas a cada tipo de inspeção efetuada, de rotina ou de especialidade.

Deverá ser elaborado um relatório detalhado para cada uma destas inspeções que deverá incidir essencialmente sobre as modificações detectadas após o último relatório análogo.

Deverá ainda proceder-se a uma inspeção visual de carácter específico, logo após a ocorrência de qualquer situação excepcional.

### **3.3.4 - Patamares de enchimento**

Ponderando o tipo e a altura da barragem, considera-se pertinente prever a existência de dois patamares de enchimento, um à cota (85,0), 14 m abaixo do NNR, correspondente a cerca de 15% da capacidade de armazenamento da barragem, e outro à cota (92,0), correspondente a um volume armazenado da ordem de 45%.

Numa barragem de aterro, os efeitos diferidos podem ser muito importantes pelo que há toda a vantagem na manutenção de cada patamar, tanto quanto possível, por um período de cerca de 2 a 3 meses, tendo no entanto que se ter em conta, naturalmente, o balanço hídrico.

A frequência de leitura dos dispositivos de monitoramento durante os patamares de enchimento deve, a menos de situações anormais, ser idêntica à referida para todo o período de enchimento.

Para além dos procedimentos já referidos de inspeção e relatório específico, no final destes períodos deverá ser elaborada uma Nota Técnica de avaliação das condições de segurança da obra que fundamente o enchimento até ao patamar seguinte – a partir da cota (85,0) - ou o enchimento total do reservatório – a partir da cota (92,0).

## **3.4 – VALORES DE REFERÊNCIA**

Apresenta-se neste item os valores de referência das grandezas em observação para as diversas fases de vida da obra – construção, primeiro enchimento e exploração normal. Para cada grandeza objeto de monitorização é indicada a sua magnitude expectável com base nas modelações efetuadas em fase de projeto e que nortearam o dimensionamento da barragem. Eventuais desvios relativamente aos valores de referência a seguir indicados poderão indiciar situações anômalas em termos de comportamento do corpo do aterro e/ou fundação da barragem que deverão, de imediato, ser objeto de acompanhamento, interpretação e de medidas corretivas, se necessário.

### **3.4.1 – Construção**

Durante a construção da barragem serão instaladas baterias de recalque que acompanharão a subida dos aterros, permitindo medir os seus assentamentos. Todos os restantes dispositivos de monitoramento serão instalados após a conclusão dos aterros até à sua cota de instalação.

Com base na análise de tensões-deformações do perfil transversal de maior altura da barragem, calcularam-se os assentamentos de referência para o final de construção, e

estimaram-se estes mesmos deslocamentos para os outros perfis instrumentados (Quadro 3.9). No que se refere ao perfil de maior altura, são ainda indicados os assentamentos expectáveis numa fase de construção intermédia, até à cota (87,0) na bateria de recalque instalada no núcleo (Quadro 3.10).

**Quadro 3.9 – Deslocamentos verticais internos. Valores de referência.  
Final de construção**

Perfil	Identificação	Travessas	Cotas	Valores de referência (m)
				Final da construção
Perfil 6	R6.1 - Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (79)	R6.1-1	(82,0)	0.05
		R6.1-2	(87,0)	0.15
		R6.1-3	(92,0)	0.16
		R6.1-4	(97,0)	0.11
		R6.1-5	(102,0)	0.03
Perfil 10	R10.1 - Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (61,5)	R10.1-1	(67,0)	0.10
		R10.1-2	(72,0)	0.22
		R10.1-3	(77,0)	0.26
		R10.1-4	(82,0)	0.27
		R10.1-5	(87,0)	0.23
		R10.1-6	(92,0)	0.16
		R10.1-7	(97,0)	0.09
		R10.1-8	(102,0)	0.02
	R10.2 – Maciço de jusante Instalado a partir da banqueta de jusante e fundado à cota (68)	R10.2-1	(64,0)	0.01
		R10.2-2	(69,0)	0.04
		R10.2-3	(74,0)	0.05
		R10.2-4	(79,0)	0.04
		R10.2-5	(84,0)	0.03
		R10.2-6	(89,0)	0.02
Perfil 11	R11.1 – Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (68)	R11.1-1	(72,0)	0.03
		R11.1-2	(77,0)	0.15
		R11.1-3	(82,0)	0.24
		R11.1-4	(87,0)	0.23
		R11.1-5	(92,0)	0.16
		R11.1-6	(97,0)	0.09
		R11.1-7	(102,0)	0.02
	R11.2 –M. de jusante Instalado a partir da banqueta de jusante fundado à cota (70)	R11.2-1	(74,0)	0.01
		R11.2-2	(79,0)	0.03
		R11.2-3	(84,0)	0.03
Perfil 15	R15.1 - Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (79)	R15.1-1	(82,0)	0.02
		R15.1-2	(87,0)	0.15
		R15.1-3	(92,0)	0.16
		R15.1-4	(97,0)	0.10
		R15.1-5	(102,0)	0.02

**Quadro 3.9 – Deslocamentos verticais internos. Valores de referência.  
Final de construção (cont)**

Perfil	Identificação	Travessas	Cotas	Valores de referência (m)
				Final da construção
Perfil 22	R22.1 - Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (78)	R22.1-1	(82,0)	0.09
		R22.1-2	(87,0)	0.16
		R22.1-3	(92,0)	0.15
		R22.1-4	(97,0)	0.09
		R22.1-5	(102,0)	0.02

**Quadro 3.10 – Deslocamentos verticais internos. Valores de referência.  
Construção até à cota (87)**

Perfil	Identificação	Travessas	Cotas	Valores de referência (m)
				Construção até à cota (87)
Perfil 10	R10.1 - Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (61,5)	R10.1-1	(67,0)	0.09
		R10.1-2	(72,0)	0.16
		R10.1-3	(77,0)	0.18
		R10.1-4	(82,0)	0.08
		R10.1-5	(87,0)	0
		R10.1-6	(92,0)	-
		R10.1-7	(97,0)	-
		R10.1-8	(102,0)	-

### 3.4.2 – Primeiro enchimento

Com a conclusão da construção da barragem todos os dispositivos de monitoramento estarão instalados, permitindo acompanhar o comportamento do aterro e respectiva fundação durante o primeiro enchimento do reservatório, ou seja, durante a primeira vez que a barragem é solicitada pelas ações para as quais foi dimensionada. Apresentam-se de seguida os valores de referência dos diferentes dispositivos.

#### Marcas superficiais

Os deslocamentos verticais esperados para a fase de primeiro enchimento deverão variar para os perfis de maior altura – P10 e P11 – entre 10 e 15 cm nas marcas instaladas no talude de montante e entre 5 e 10 cm nas marcas do coroamento. Para os restantes perfis os deslocamentos máximos esperados variam entre 5 e 10 cm no talude de montante e entre 2 e 5 cm no coroamento. Na banquetta de jusante os assentamentos esperados nesta fase são muito reduzidos.

## Inclinómetros

Os deslocamentos horizontais internos de referência apresentados no Quadro 3.11 foram calculados para o perfil de maior altura da barragem e estimados para os restantes perfis instrumentados.

**Quadro 3.11 – Deslocamentos horizontais internos. Valores máximos de referência para o primeiro enchimento**

Perfil	Identificação	Travessas	Cotas	Valores de referência (m)
Perfil 6	I6.1 - Instalado a partir do coroamento a montante	R6.1-1	(82,0)	0.02
		R6.1-2	(87,0)	0.07
		R6.1-3	(92,0)	0.05
		R6.1-4	(97,0)	0.00
		R6.1-5	(102,0)	-0.03
Perfil 10	I10.1 - Instalado a partir do coroamento a jusante	R10.1-1	(67,0)	0.03
		R10.1-2	(72,0)	0.09
		R10.1-3	(77,0)	0.12
		R10.1-4	(82,0)	0.10
		R10.1-5	(87,0)	0.07
		R10.1-6	(92,0)	0.04
		R10.1-7	(97,0)	-0.02
		R10.1-8	(102,0)	-0.05
Perfil 11	I11.1 - Instalado a partir do coroamento a montante	R11.1-1	(72,0)	0.01
		R11.1-2	(77,0)	0.07
		R11.1-3	(82,0)	0.09
		R11.1-4	(87,0)	0.08
		R11.1-5	(92,0)	0.04
		R11.1-6	(97,0)	-0.01
		R11.1-7	(102,0)	-0.04
Perfil 15	I15.1 - Instalado a partir do coroamento a jusante	R15.1-1	(82,0)	0.00
		R15.1-2	(87,0)	0.06
		R15.1-3	(92,0)	0.04
		R15.1-4	(97,0)	0.00
		R15.1-5	(102,0)	-0.03
Perfil 22	I22.1 - Instalado a partir do coroamento a montante	R22.1-1	(82,0)	0.03
		R22.1-2	(87,0)	0.07
		R22.1-3	(92,0)	0.05
		R22.1-4	(97,0)	0.00
		R22.1-5	(102,0)	-0.04

Os valores com sinal positivo correspondem a deslocamentos horizontais com direção de jusante e os valores com sinal negativo com direção de montante

### Medidores de recalques

Os deslocamentos verticais internos de referência foram calculados para o perfil de maior altura da barragem e estimados para os restantes perfis instrumentados, e são apresentados no Quadro 3.12. De sublinhar que os valores registados nas baterias no final do primeiro enchimento são o somatório dos deslocamentos ocorridos durante a construção com os resultantes do enchimento do reservatório.

**Quadro 3.12 – Deslocamentos verticais internos. Valores de referência no final do primeiro enchimento**

Perfil	Identificação	Travessas	Cotas	Valores de referência (m)
Perfil 6	R6.1 - Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (79)	R6.1-1	(82,0)	0.09
		R6.1-2	(87,0)	0.18
		R6.1-3	(92,0)	0.16
		R6.1-4	(97,0)	0.09
		R6.1-5	(102,0)	0.02
Perfil 10	R10.1 - Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (61,5)	R10.1-1	(67,0)	0.13
		R10.1-2	(72,0)	0.25
		R10.1-3	(77,0)	0.30
		R10.1-4	(82,0)	0.30
		R10.1-5	(87,0)	0.28
		R10.1-6	(92,0)	0.23
		R10.1-7	(97,0)	0.16
		R10.1-8	(102,0)	0.08
	R10.2 – Maciço de jusante Instalado a partir da banquetta de jusante e fundado à cota (68)	R10.2-1	(64,0)	0
		R10.2-2	(69,0)	0
		R10.2-3	(74,0)	0
		R10.2-4	(79,0)	0.01
		R10.2-5	(84,0)	0.01
		R10.2-6	(89,0)	0.01
Perfil 11	R11.1 – Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (68)	R11.1-1	(72,0)	0.04
		R11.1-2	(77,0)	0.17
		R11.1-3	(82,0)	0.24
		R11.1-4	(87,0)	0.24
		R11.1-5	(92,0)	0.18
		R11.1-6	(97,0)	0.10
		R11.1-7	(102,0)	0.03
	R11.2 –M. de jusante Instalado a partir da banquetta de jusante fundado à cota (70)	R11.2-1	(74,0)	0
		R11.2-2	(79,0)	0
		R11.2-3	(84,0)	0
		R11.2-4	(89,0)	0.01

**Quadro 3.12 – Deslocamentos verticais internos. Valores de referência no final do primeiro enchimento (Cont.)**

Perfil	Identificação	Travessas	Cotas	Valores de referência (m)
Perfil 15	R15.1 - Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (79)	R15.1-1	(82,0)	0.03
		R15.1-2	(87,0)	0.14
		R15.1-3	(92,0)	0.16
		R15.1-4	(97,0)	0.09
		R15.1-5	(102,0)	0.02
Perfil 22	R22.1 - Núcleo Instalado a partir do coroamento e fundado à cota (78)	R22.1-1	(82,0)	0.11
		R22.1-2	(87,0)	0.18
		R22.1-3	(92,0)	0.16
		R22.1-4	(97,0)	0.09
		R22.1-5	(102,0)	0.02

### Piezômetros

Durante o primeiro enchimento não são previstos registos nos piezômetros hidráulicos instalados no núcleo já que este não terá, em princípio, tempo para que a saturação se processe. A saturação do núcleo deverá ocorrer gradualmente, primeiro nas cotas inferiores e na metade de montante. Nos piezômetros instalados no maciço de fundação os valores deverão ser inferiores ou iguais aos valores de referência da fase de exploração da obra, indicados no capítulo seguinte.

### Medidores de vazão

Também nos medidores, a vazão medida durante o primeiro enchimento será, em princípio, reduzida, aumentando com a saturação do núcleo, mas nunca ultrapassando os valores de referência da fase de exploração.

### **3.4.3 - Exploração**

#### Marcas superficiais

Na fase de exploração da obra estima-se como valores de referência para as marcas superficiais instaladas no coroamento assentamentos da ordem de 1% da altura da barragem, de 0,7% no talude de montante, e na banquetta de jusante de 0,5% da altura de aterro sob a banquetta. No Quadro 3.13 indicam-se os valores máximos de assentamento expectáveis.

**Quadro 3.13 – Valores máximos de referência das Marcas Superficiais (deslocamentos verticais)**

Perfil	Identificação	Cota	Localização	Valores de referência (Fase de exploração) (m)
1	M1-1	(103,5)	Coroamento, a montante	0.12
	M1-2	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.12
5	M5-1	(103,5)	Coroamento, a montante	0.19
	M5-2	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.19
6	M6-1	(99,5)	Talude de montante	0.14
	M6-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.24
	M6-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.24
	M6-4	(90,0)	Banqueta de jusante	0.06
7	M7-1	(103,5)	Coroamento, a montante	0.20
	M7-2	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.20
8	M8-1	(99,5)	Talude de montante	0.09
	M8-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.21
	M8-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.21
	M8-4	(90,0)	Banqueta de jusante	0.03
9	M9-1	(103,5)	Coroamento, a montante	0.25
	M9-2	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.25
	M9-3	(90,0)	Banqueta de jusante	0.05
10	M10-1	(99,5)	Talude de montante	0.26
	M10-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.41
	M10-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.41
	M10-4	(90,0)	Banqueta de jusante	0.14
11	M11-1	(99,5)	Talude de montante	0.21
	M11-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.33
	M11-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.33
	M11-4	(90,0)	Banqueta de jusante	0.10
12	M12-1	(103,5)	Coroamento, a montante	0.19
	M12-2	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.19
	M12-3	(90,0)	Banqueta de jusante	0.03
13	M13-1	(99,5)	Talude de montante	0.10
	M13-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.18
	M13-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.18
15	M15-1	(99,5)	Talude de montante	0.13
	M15-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.22
	M15-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.22
	M15-4	(90,0)	Banqueta de jusante	0.05
16	M16-1	(103,5)	Coroamento, a montante	0.20
	M16-2	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.20



**Quadro 3.13 – Valores máximos de referência das Marcas Superficiais (deslocamentos verticais) (Cont.)**

Perfil	Identificação	Cota	Localização	Valores de referência (Fase de exploração) (m)
17	M17-1	(99,5)	Talude de montante	0.13
	M17-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.22
	M17-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.22
	M17-4	(90,0)	Banqueta de jusante	0.05
20	M20-1	(103,5)	Coroamento, a montante	0.13
	M20-2	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.13
21	M21-1	(103,5)	Coroamento, a montante	0.17
	M21-2	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.17
22	M22-1	(99,5)	Talude de montante	0.15
	M22-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.25
	M22-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.25
	M22-4	(90,0)	Banqueta de jusante	0.05
24	M24-1	(99,5)	Talude de montante	0.10
	M24-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.18
	M24-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.18
28	M28-1	(99,5)	Talude de montante	0.11
	M28-2	(103,5)	Coroamento, a montante	0.19
	M28-3	(103,5)	Coroamento, a jusante	0.19
	M28-4	(90,0)	Banqueta de jusante	0.03

Apresenta-se na [Figura 3.3](#) a curva de evolução de assentamentos para o perfil de maior altura da barragem, nas marcas instaladas no coroamento, determinada através da seguinte expressão:

$$S_1 = \frac{S}{1000 \times H \times \log(t_2 / t_1)}$$

em que:

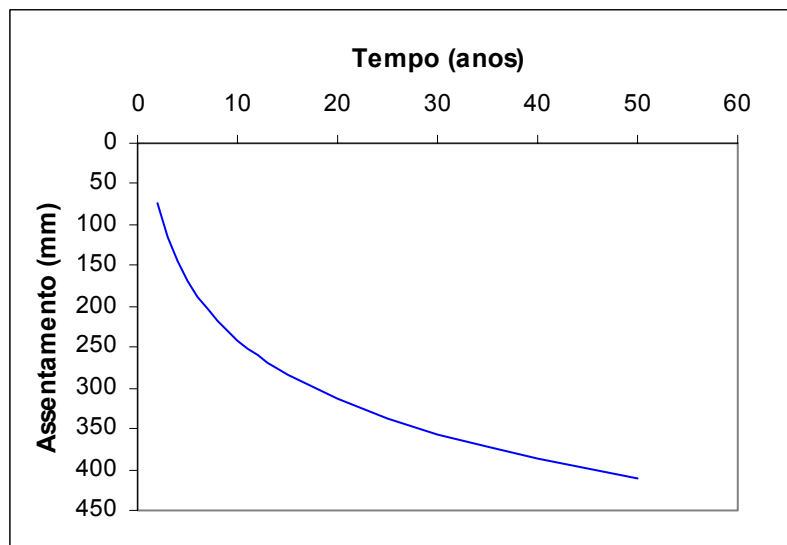
$S_1$  – índice de assentamento

S - assentamento (mm);

$t_1$ - tempo da leitura após o final da construção da barragem;

$t_2$ - tempo para o qual se pretende calcular o assentamento;

H - altura da barragem (m);



**Figura 3.3 – Assentamentos ao longo do tempo**

#### Inclinómetros

Em fase de exploração, os deslocamentos horizontais internos deverão sofrer oscilações função da variação do nível de água no reservatório, não devendo ultrapassar os valores de referência indicados no Quadro 3.11 para o primeiro enchimento.

#### Baterias de recalque

Em fase de exploração os deslocamentos verticais internos deverão ser coerentes com os deslocamentos superficiais do corpo do aterro, devendo os maiores incrementos verificarem-se nas cotas superiores do aterro.

#### Piezómetros Hidráulicos

Com base na análise de percolação dos perfis instrumentados, definiram-se no Quadro 3.14, os valores de referência dos piezómetros para a fase de exploração da obra, após estabelecido a linha superior de saturação.

**Quadro 3.14 – Valores de referência dos Piezômetros Hidráulicos**

Perfil	Identificação		Cota da Ponteira	Instalação / Cota	Valores de referência
	Piez.	Ponteira			
Perfil 1	P1.1	P1.1-1	(91,0)	Coroamento - (103,5)	97.5
		P1.1-2	(85,0)		96.0
Perfil 6	P6.1	P6.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	97.1
		P6.1-2	(85,0)		92.6
		P6.1-3	(72,0)		90.5
	P6.2	P6.2-1	(82,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	(*)
		P6.2-2	(72,0)		81.7
Perfil 7	P7.1	P7.1-1	(79,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	(*)
		P7.1-2	(72,0)		83.6
Perfil 8	P8.1	P8.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	97.5
		P8.1-2	(82,0)		93.7
		P8.1-3	(75,0)		93.2
	P8.2	P8.2-1	(85,5)	Banqueta de jusante (90,0)	(*)
		P8.2-2	(75,0)		86.2
Perfil 10	P10.1	P10.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	96.7
		P10.1-2	(80,0)		91.4
		P10.1-3	(55,0)		86.9
	P10.2	P10.2-1	(85,0)	Coroamento - (103,5)	88.6
		P10.2-2	(75,0)		82.8
		P10.2-3	(61,0)		83.2
	P10.3	P10.3-1	(69,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	73.0
		P10.3-2	(64,5)		73.3
		P10.3-3	(55,0)		76.3
Perfil 11	P11.1	P11.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	97.1
		P11.1-2	(80,0)		91.6
		P11.1-3	(69,0)		86.9
	P11.2	P11.2-1	(85,0)	Coroamento - (103,5)	88.2
		P11.2-2	(75,0)		82.4
		P11.2-3	(60,0)		81.7
Perfil 11	P11.3	P11.3-1	(73,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	(*)
		P11.3-2	(68,0)		72.8
		P11.3-3	(60,0)		75.5
Perfil 13	P13.1	P13.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	97.4
		P13.1-2	(80,0)		95.8
	P13.2	P13.2-1	(84,0)	Coroamento - (103,5)	91.7
		P13.2-2	(75,0)		93.8

**Quadro 3.14 – Valores de referência dos Piezômetros Hidráulicos (Cont.)**

Perfil	Identificação		Cota da Ponteira	Instalação / Cota	Valores de referência
	Piez.	Ponteira			
Perfil 15	P15.1	P15.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	97.2
		P15.1-2	(79,0)		92.1
		P15.1-3	(70,0)		92.8
	P15.2	P15.2.1	(82,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	(*)
		P15.2.2	(78,0)		79.8
		P15.2.3	(70,0)		82.6
Perfil 17	P17.1	P17.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	97.4
		P17.1-2	(85,0)		94.7
		P17.1-3	(70,0)		92.0
	P17.2	P17.2-1	(83,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	(*)
		P17.2-2	(79,0)		81.4
		P17.2-3	(70,0)		81.7
Perfil 20	P20.1	P20.1-1	(90,0)	Coroamento - (103,5)	96.9
		P20.1-2	(80,0)		96.6
Perfil 22	P22.1	P22.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	97.5
		P22.1-2	(85,0)		94.6
		P22.1-3	(70,0)		90.8
	P22.2	P22.2-1	(90,0)	Coroamento - (103,5)	91.4
		P22.2-2	(78,0)		87.0
		P22.2-3	(70,0)		88.0
	P22.3	P22.3-1	(75,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	80.9
		P22.3-2	(70,0)		83.0
	Perfil 24	P24.1	P24.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)
P24.1-2			(84,0)	94.1	
P24.1-3			(78,0)	93.4	
P24.2		P24.2-1	(78,0)	Banqueta de jusante (90,0)	86.3
Perfil 28	P28.1	P28.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)	97.6
		P28.1-2	(85,0)		94.7
		P28.1-3	(75,0)		94.2
	P28.2	P28.2-1	(90,0)	Coroamento - (103,5)	91.4
		P28.2-2	(83,0)		89.4
		P28.2-3	(75,0)		91.2

(\*) Nestes piezômetros só serão, em princípio, lidos níveis em situações anômalas, nomeadamente resultantes do funcionamento deficiente do sistema de drenagem por falta de capacidade de vazão.

### Medidores de vazão

Os valores de referência da vazão percolada pelo aterro e fundação na fase de exploração, que se apresentam no Quadro 3.15, foram definidos com base nos estudos de percolação realizados para perfis representativos da obra.

**Quadro 3.15 – Valores máximos de referência dos medidores de vazão**

Perfil	Valores de referência (l/min)
P1	10
P6	23
P7	10
P10 – açude	215
P11	37
P15	110
P17	17
P22	155
P24	80
P28	15

### 3.5 – PLANO DE MANUTENÇÃO

Ações de manutenção periódica devem ser levadas a cabo quer na barragem quer nos órgãos hidráulicos anexos. Tratam-se de ações que permitem corrigir pequenas deteriorações e/ou situações anômalas que, se detectadas e corrigidas em tempo útil, não terão significado no âmbito da segurança ou da funcionalidade da obra. Ao contrário, a sua não correção poderá induzir potenciais comportamentos anômalos das estruturas.

Cita-se, no caso do vertedouro, órgão de segurança fundamental da barragem, a limpeza de eventuais sedimentos e materiais arrastados dos taludes confinantes para o canal de aproximação e área a montante da soleira vertedoura. A acumulação de materiais nesta zona pode conduzir à redução da capacidade de vazão da soleira vertedoura, com conseqüências potenciais ao nível de subida anormal de água no reservatório e, no limite, ao galgamento da obra.

O concreto da soleira do vertedouro deve ser inspecionado com periodicidade anual, com o objetivo de detectar avarias que prejudiquem a conformação geométrica da soleira e eventuais pontos de cavitação. As avarias detectadas devem ser reparadas com a aplicação de concreto fck = 25MPa, com o cuidado de se restabelecer a geometria original de projeto.

Também o canal vertedouro e bacia de dissipação, escavados na rocha, deverão ser, pelas mesmas razões, objeto de limpeza periódica. Por outro lado, eventuais erosões ou subescavações localizadas deverão ser objeto de correção, por exemplo, com concreto pobre.

A zona de saída da tomada de água é outro ponto que deverá ser objeto de manutenção periódica, promovendo, designadamente, a correção de erosões localizadas que ocorram a

jusante das áreas de impacto das vazões descarregadas, evitando, designadamente, erosões regressivas.

No que se refere ao corpo da barragem, as ações de limpeza dos elementos de drenagem e correção de eventuais perturbações no enrocamento de proteção ou de erosões/fissurações superficiais no aterro subjacente deverão ser implementadas periodicamente. Também no que se refere à inserção do corpo da barragem na fundação e ao terreno natural a jusante deverão ser implementadas ações de limpeza e correção de eventuais situações anômalas - por exemplo, captação de ressurgências. É importante que os sistemas de drenagem se mantenham limpos e operacionais, evitando assim situações de acumulação de água que poderão mascarar eventuais problemas de comportamento do corpo do aterro e/ou fundação.

Também os equipamentos hidromecânicos deverão ser objeto de manutenção periódica. A sua adequada manutenção evitará o aparecimento ou a progressão de pontos de corrosão dos elementos metálicos, de falta de estanqueidades ou mesmo de obstrução à sua manobra.

Os manuais contendo os procedimentos detalhados de manutenção a serem seguidos para os equipamentos hidromecânicos, deverão constar no escopo do fornecimento dos mesmos, ou seja deverão ser fornecidos pelo fabricante dos equipamentos adquiridos. A seguir apresenta-se os principais aspectos a serem observados na manutenção dos equipamentos hidromecânicos principais:

a) Grade:

- É necessária a inspeção dos equipamentos de içamento e da grade propriamente dita com uma frequência de pelo menos uma vez por ano
- Traços de oxidação e corrosão que eventualmente venham a ser encontrados, devem ser eliminados através de limpeza cuidadosa com escova metálica e protegidos através de retoque da pintura danificada;
- Por ocasião da inspeção, deve-se ainda verificar todas as ligações aparafusadas, reapertando-as se necessário.

b) Comporta Vagão:

- É necessária a inspeção dos equipamentos de içamento e da comporta propriamente dita com uma frequência de pelo menos uma vez por ano
- Traços de oxidação e corrosão que eventualmente venham a ser encontrados, devem ser eliminados através de limpeza cuidadosa com escova metálica e protegidos através de retoque da pintura danificada;

- Por ocasião da inspeção deve-se ainda verificar todas as ligações aparafusadas, reapertando-as se necessário;
  - As borrachas de vedação devem ser inspecionadas a cada 12 meses e substituídas se necessário;
- c) Válvulas Borboleta:
- É necessária a inspeção das válvulas borboleta pelo menos uma vez por ano, executando as seguintes ações em cada uma das válvulas:
    - Manipulação da válvula, fechamento e abertura total;
    - Controle da parte mecânica: gaxeta, apertar os parafusos se necessário;
  - A substituição da gaxeta deve ser feita a cada 8 anos;
- d) Válvulas Dispensoras:
- É necessária a inspeção em toda a parte estrutural das válvulas dispensoras pelo menos uma vez por ano.
  - Traços de oxidação e corrosão que eventualmente venham a ser encontrados, devem ser eliminados através de limpeza cuidadosa com escova metálica e protegidos através de retoque da pintura danificada;
  - Por ocasião da inspeção deve-se ainda verificar todas as ligações aparafusadas, reapertando-as se necessário;
  - Deve-se inspecionar cuidadosamente o estado geral das sapatas e guias, assim como os anéis de vedação, substituindo-os caso seja necessário;

## **3.6 - AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA OBRA**

### **3.6.1 – Considerações iniciais**

A inspeção, monitoramento e análise periódica do comportamento da obra constituem atividades fundamentais no âmbito da segurança e funcionalidade de uma barragem.

Não obstante, os diferentes tipos de deteriorações passíveis de ocorrerem e as suas diferentes formas de manifestação, associadas às características específicas de cada deterioração e de cada obra, é possível sistematizar um determinado número de ações que, em conjunto, permitirão a sua deteção e caracterização.

Estas ações integram essencialmente as seguintes operações:

- i) inspeção;

- ii) monitoramento;
- iii) análise do comportamento da obra;

as quais são objeto de descrição detalhada nos capítulos seguintes.

### **3.6.2 - Inspeção visual**

Como referido anteriormente, a inspeção visual da Barragem do Figueiredo deve ser realizada em todas as suas fases de vida e constituirá, à partida, o método mais eficaz de deteção de deteriorações.

As inspeções podem ser de diferentes tipos, desde as mais simples, realizadas pelo pessoal de exploração das barragens, até às mais complexas efetuadas por equipas de peritos altamente qualificados, de acordo com o descrito no Capítulo 3.2.6.

No que respeita à frequência das inspeções de rotina, esta deve ser adequada às fases de vida da obra e à sua importância. No caso das inspeções especiais, a frequência mínima deve ter em conta a evolução das propriedades dos materiais e as condicionantes específicas de cada obra e, nas inspeções de carácter excepcional, a inspeção deve realizar-se sempre depois de ocorrências excepcionais, como sejam sismos importantes, grandes cheias, rebaixamento significativo do nível de água do reservatório.

Os diversos aspectos, detalhes e procedimentos a seguir nas inspeções podem, e é desejável que o sejam, ser objeto de normalização a fim de facilitar e garantir a eficácia da ação dos agentes intervenientes. Um dos aspectos de normalização consiste na utilização de fichas a preencher durante a inspeção e que será uma peça fundamental do relatório de inspeção (Anexo).

### **3.6.3 - Monitoramento**

A implementação do Plano de Monitoramento da Barragem de Figueiredo visa essencialmente o controlo da segurança estrutural e operacional durante as diferentes fases de vida da obra.

As grandezas objeto de monitoramento, o tipo de dispositivos de leitura, os locais de instalação, bem como a frequência de leituras e conseqüentes ações de validação, interpretação e análise do comportamento da obra, foram aferidas às condicionantes e cenários de risco potenciais da Barragem de Figueiredo.



### Recolha de dados

A recolha de dados far-se-á para todos os dispositivos da Barragem de Figueiredo manualmente.

A frequência da recolha de dados foi definida no Plano de Monitoramento em função da fase de vida da barragem, podendo vir a ser objeto de correção face a situações de exploração anormais.

### Tratamento e validação de dados

O tratamento e validação de dados implica sempre duas fases. Numa primeira fase, transformam-se as medições efetuadas em grandezas físicas. Numa segunda fase, relacionam-se os valores das grandezas medidas com valores de referência. Estes valores de referência constituem a base para validação de dados que consiste em eliminar os dados anormais, os quais são devidos fundamentalmente a:

- erros de leitura;
- erros de transcrição;
- avarias dos aparelhos de medição;
- erros de transmissão.

Classificam-se como dados anormais aqueles que saem da banda normal de incerteza da grandeza medida. Constatada a existência de um dado anormal deverá fazer-se uma nova leitura, e se a anomalia persistir deverá verificar-se a integridade e operacionalidade do aparelho de medição. Se a anomalia é real é necessário investigar as causas e remediá-la.

É conveniente que a primeira validação seja feita na barragem, com vista à agilização dos eventuais procedimentos de verificação e correção no local.

### Transmissão

Caso não existam meios para efetuar a validação dos dados no local de barragem, é indispensável dispor de um sistema de comunicações eficiente, que permita a transmissão dos dados à estrutura central.

## Arquivo

O arquivo de dados já validados e dos resultados do seu tratamento deve ser, de preferência, automatizado, assim como a validação e o tratamento dos dados.

A automatização deve permitir refazer os cálculos com modelos conceptuais aperfeiçoados ou adaptados aos dados elaborados a fim de analisar mais tarde a evolução do comportamento da barragem.

### **3.6.4 - Análise do comportamento da obra**

#### **3.6.4.1 – Considerações gerais**

A análise conjunta das informações recolhidas por inspeções periódicas das obras, dos dados de monitoramento e também das ações de manutenção deverá constituir um trabalho contínuo e integrado que permita a avaliação periódica da segurança e operacionalidade das obras. Esta atividade deve ser realizada por uma equipe de especialistas nas diferentes áreas científicas interessadas, munidos de “ferramentas” de cálculo adequadas.

É preciso ter presente que no estado atual dos conhecimentos, as informações de monitoramento são incompletas e afetadas de incertezas ou de erros. De igual modo os modelos conceptuais que fornecem os valores de referência refletem apenas de forma parcial e imperfeita a realidade física sempre muito complexa.

Há que ter ainda em consideração que as grandezas medidas não se relacionam sempre da mesma maneira às variações do grau de segurança de cada barragem, havendo casos onde fenômenos importantes para a segurança não tenham influência sobre as grandezas observadas.

Assim, é importante ter presente que o que se vê, o que se mede e o que realmente está a acontecer nem sempre evidenciam ou indicam os mesmos fenômenos, tornando indissociável, na avaliação do comportamento da obra, um julgamento subjetivo que baseará decisões que poderão ter conseqüências econômicas e sociais muito importantes, pelo que deverá recair numa equipe de especialistas altamente qualificados, com experiência neste tipo de trabalho, e um conhecimento profundo das especificidades do local e da obra em causa.

No caso de se constatar uma qualquer deterioração da barragem, seja revelada pela leitura dos dispositivos de monitoramento, seja detectada por inspeção visual ou ações de

manutenção, haverá que decidir qual a estratégia a seguir, obviamente condicionada pelo tipo e dimensão da deterioração e que poderá passar pela execução de medidas de reabilitação imediatas ou, por exemplo, por investigações complementares, pelo reforço do sistema de monitoramento e/ou inspeção da obra.

#### **3.6.4.2 - Aspectos a considerar na avaliação do comportamento e segurança**

Como referido, a avaliação de segurança da obra deverá ter em conta a análise integrada da informação recolhida quer nas ações de manutenção, quer nas visitas de inspeção, quer pela leitura, validação e interpretação das grandezas objeto do monitoramento.

Deverá ter-se em conta, designadamente:

- i) as indicações obtidas nas inspeções visuais, durante as quais se procurará detectar, em tempo útil, eventuais fenômenos de erosão interna do material do aterro e/ou das camadas superficiais de fundação, percolações excessivas pelo corpo da barragem ou fundação, assentamentos localizados que possam sugerir perturbações no aterro subjacente, etc.
- ii) as grandezas objeto de medição não deverão exibir variações significativas para condições de solicitação idênticas.
- iii) os resultados dos deslocamentos, visando a detecção, em tempo útil, de eventuais movimentos anômalos da barragem. Espera-se que os deslocamentos verticais do aterro não ultrapassem, no final da construção, cerca de 0,7% da altura máxima do aterro no perfil em observação. Os deslocamentos verticais associados ao primeiro enchimento deverão ter valores reduzidos e os deslocamentos horizontais valores inferiores a cerca de 0,3% da altura do aterro. Para os deslocamentos verticais a longo prazo estimam-se valores máximos da ordem de 1,0% de altura de aterro.
- iv) os resultados dos níveis piezométricos na fundação sob o núcleo deverão traduzir uma perda de carga moderada relativamente ao reservatório (de 35 a 60%); sob a banquetta de jusante a perda de carga relativamente ao reservatório deve ser da ordem de 80 a 90%;
- v) os níveis piezométricos no núcleo deverão ter valores compatíveis com uma evolução lenta da superfície de saturação durante os primeiros anos de exploração, pelo que não são de prever leituras de níveis durante o primeiro enchimento, a menos dos piezómetros instalados a cotas inferiores, próximo da fundação e/ou abaixo das cotas do terreno natural a jusante; os níveis piezométricos no aterro do

maciço estabilizador de jusante deverão ser nulos ou traduzir uma altura de água máxima acima da fundação da ordem de 2 m.

- vi) as vazões afluentes não deverão ser significativas na fase de primeiro enchimento, tendo em conta o tempo de saturação previsível para o aterro e fundação da barragem, estimando-se, para a fase de exploração de obra, valores da ordem de 11 l/s. À semelhança das restantes grandezas, não deverão ocorrer variações significativas para condições de solicitação idênticas a situações anteriormente verificadas.

### **3.6.5 - Potenciais problemas e eventuais medidas de intervenção**

Nos [Quadros 3.16 e 3.17](#) identificam-se os potenciais problemas detectáveis, respectivamente, pela exploração dos dispositivos de monitoramento e pela inspeção visual.

No que se refere aos tipos de obras de reabilitação, estas terão que ser aferidas caso a caso às condicionantes locais e das próprias estruturas e ao tipo, extensão e brevidade das deteriorações. Por curiosidade refere-se, para finalizar, alguns dados estatísticos disponíveis do ICOLD, segundo os quais foram, até hoje, utilizados cerca de trinta tipos de correções em barragens de aterro. Os sete mais freqüentes são ordenados como se indica:

- Reparação e construção de filtros e drenos;
- Tratamento de melhoria da estanqueidade;
- Reconstrução de zonas deterioradas;
- Revestimentos (taludes de montante e jusante);
- Reparação e substituição de dispositivos de monitoramento;
- Proteção, construção, regularização ou reforço de taludes;
- Rebaixamento do nível do reservatório.

No que respeita às obras hidráulicas anexas, as estatísticas mostram que se utilizaram cerca de vinte tipos de correções. Os sete mais freqüentes ordenam-se como se indica:

- Reparação de superfícies em contato com o escoamento;
- Reconstrução de zonas deterioradas;
- Aumento de vazão;
- Reconstrução parcial com reforço e modificações estruturais;
- Construção, modificação ou reparação de comportas;
- Monitoramento;
- Construção de drenos e filtros.

**Quadro 3.16 – Potenciais Problemas Detectáveis pela Exploração dos Dispositivos de Monitoramento****(Figueiredo)**

<b>Dispositivos</b>	<b>Grandeza</b>	<b>Situação</b>	<b>Cenários possíveis de incidentes e/ou acidentes</b>	<b>Eventuais medidas de intervenção</b>
Marcas superficiais	Deslocamentos superficiais verticais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento importante dos assentamentos (ver se os níveis do reservatório estão estabilizados, se ocorrerem pequenos acréscimos ou grandes acréscimos).</li> <li>• Assentamentos superiores aos valores de referência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colapso</li> <li>• Subsidência</li> <li>• Fissuração</li> <li>• Fracturação</li> <li>• Perda de folga</li> <li>• Erosão interna</li> <li>• Instabilidade do corpo do aterro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rebaixamento do nível do reservatório</li> <li>• Obras de reabilitação/estabilização</li> <li>• Reforço do monitoramento</li> <li>• Investigações complementares</li> </ul>
Inclinômetros	Deslocamentos horizontais internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento importante dos deslocamentos horizontais internos (ver se os níveis do reservatório estão estabilizados, se ocorrerem pequenos acréscimos ou grandes acréscimos).</li> <li>• Deslocamentos horizontais internos superiores aos valores de referência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deslocamentos horizontais excessivos</li> <li>• Instabilidade do corpo do aterro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rebaixamento do nível do reservatório</li> <li>• Obras de reabilitação/estabilização</li> <li>• Reforço do monitoramento</li> <li>• Investigações complementares</li> </ul>
Baterias de recalque	Deslocamentos verticais internos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento importante dos deslocamentos verticais internos (ver se os níveis do reservatório estão estabilizados, se ocorrerem pequenos acréscimos ou grandes acréscimos).</li> <li>• Deslocamentos verticais internos superiores aos valores de referência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Assentamentos verticais excessivos</li> <li>• Colapso</li> <li>• Instabilidade do corpo do aterro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rebaixamento do nível do reservatório</li> <li>• Obras de reabilitação/estabilização e/ou reposição da cota do coroamento</li> <li>• Reforço do monitoramento</li> <li>• Investigações complementares</li> </ul>
Piezômetros hidráulicos instalados na fundação	Níveis hidráulicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento importante dos níveis hidráulicos (ver se os níveis do reservatório estão estabilizados, se ocorrerem pequenos acréscimos ou grandes acréscimos).</li> <li>• Níveis hidráulicos superiores aos níveis de referência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdas de água localizadas</li> <li>• Arrastamento de materiais finos da fundação – zona superficial do maciço, preenchimento de caixas de falhas e/ou de fracturas</li> <li>• Erosão interna</li> <li>• Instabilidade global aterro-fundação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rebaixamento do nível do reservatório</li> <li>• Drenagem</li> <li>• Tratamento localizado de impermeabilização</li> <li>• Obras de reabilitação/estabilização</li> <li>• Reforço do monitoramento</li> <li>• Investigações complementares</li> </ul>
Piezômetros hidráulicos instalados no contacto aterro-fundação	Níveis hidráulicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento importante dos níveis hidráulicos (ver se os níveis do reservatório estão estabilizados, se ocorrerem pequenos acréscimos ou grandes acréscimos).</li> <li>• Níveis hidráulicos superiores aos níveis de referência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdas de água</li> <li>• Erosão interna.</li> <li>• Instabilidade do corpo do aterro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rebaixamento do nível do reservatório</li> <li>• Drenagem</li> <li>• Obras de reabilitação/estabilização (por exemplo, aterros de estabilização e de drenagem a jusante e obras de impermeabilização a montante)</li> <li>• Reforço do monitoramento</li> <li>• Investigações complementares</li> </ul>

Quadro 3.16 – Potenciais Problemas Detectáveis pela Exploração dos Dispositivos de Monitoramento (Cont.)

(Figueiredo)

Dispositivos	Grandeza	Situação	Cenários possíveis de incidentes e/ou acidentes	Eventuais medidas de intervenção
Piezômetros hidráulicos instalados no aterro	Níveis hidráulicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento importante dos níveis hidráulicos (ver se os níveis do reservatório estão estabilizados, se ocorrerem pequenos acréscimos ou grandes acréscimos).</li> <li>• Níveis hidráulicos superiores aos valores de referência.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdas de água.</li> <li>• Erosão interna.</li> <li>• Instabilidade do corpo do aterro.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rebaixamento do nível do reservatório</li> <li>• Drenagem</li> <li>• Obras de reabilitação/estabilização (por exemplo, aterros de estabilização e de drenagem a jusante e obras de impermeabilização a montante)</li> <li>• Reforço do monitoramento</li> <li>• Investigações complementares</li> </ul>
Medidores de vazão	Vazão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incremento importante da vazão (ver se os níveis do reservatório estão estabilizados, se ocorrerem pequenos acréscimos ou grandes acréscimos).</li> <li>• Material fino do aterro e/ou da fundação em suspensão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perdas de água localizadas.</li> <li>• Arrastamento de materiais finos da fundação – zona superficial do maciço, preenchimento de caixas de falhas e/ou de fracturas.</li> <li>• Arrastamento de materiais finos do núcleo.</li> <li>• Erosão interna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rebaixamento do nível do reservatório</li> <li>• Drenagem</li> <li>• Tratamento localizado de impermeabilização</li> <li>• Obras de reabilitação/estabilização</li> <li>• Reforço do monitoramento</li> <li>• Investigações complementares</li> </ul>

Quadro 3.17 – Potenciais Problemas Detectáveis pela Inspeção Visual

(Figueiredo)

Inspeção visual	Situação	Cenários possíveis de incidentes e/ou acidentes	Eventuais medidas de intervenção
Reservatório	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vazão sólida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obstrução da entrada da tomada de água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operação periódica da tomada de água</li> <li>Melhorias do coberto vegetal e da utilização dos solos</li> <li>Valas perimetrais</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instabilidade potencial de taludes</li> <li>Vento excepcional sobre o reservatório</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geração de ondas que conduzam a potenciais galgamentos da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de estabilização dos taludes</li> <li>Rebaixamento do nível de água no reservatório (associado a reforço e drenagem do talude)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Subida do nível do reservatório acima do NNR devido a cheias excepcionais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potencial galgamento da obra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Monitoramento</li> <li>Acionamento da tomada de água</li> </ul>
Corpo da barragem e inserção na fundação	<ul style="list-style-type: none"> <li>Movimentos, fissuras e/ou erosões no corpo da barragem</li> <li>Zonas húmidas e/ou ressurgências no talude de jusante</li> <li>Zonas húmidas e/ou ressurgências na inserção da barragem na fundação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perda de folga e eventual potencial galgamento</li> <li>Erosão interna</li> <li>Instabilidade do corpo do aterro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rebaixamento do nível de água no reservatório</li> <li>Obras de reabilitação a definir função do tipo e magnitude do problema (por exemplo: subida do coroamento, execução de aterros de estabilização e de drenagem a jusante e obras de impermeabilização a montante, etc.)</li> <li>Reforço do monitoramento</li> <li>Investigações complementares</li> </ul>
Ombreiras da barragem	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perdas de água pelas ombreiras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eventual arrastamento de materiais finos do trecho superficial da fundação, do preenchimento de caixas de falha e/ou de fracturas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de impermeabilização a montante e/ou de drenagem e confinamento a jusante</li> <li>Monitoramento</li> <li>Investigações complementares</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instabilidade potencial das ombreiras da barragem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Escorregamento de taludes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de estabilização</li> <li>Monitoramento</li> <li>Investigações complementares</li> </ul>
Vertedouro	<ul style="list-style-type: none"> <li>Obstrução e/ou instabilidade potencial da zona envolvente da estrutura de controle do vertedouro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eventual redução da capacidade de vazão em caso de cheia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de limpeza e/ou de estabilização</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Movimentos, erosões, fissuras, fendas e/ou alterações químicas do concreto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Modificação das condições de escoamento.</li> <li>Instabilidade estrutural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de reabilitação</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instabilidade potencial dos taludes envolventes e rasto do canal e/ou da bacia de dissipação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instabilização de taludes e obstrução do escoamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de estabilização</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosões regressivas a jusante da bacia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potencial Instabilidade local e obstrução do escoamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de reforço</li> </ul>
Tomada de água	<ul style="list-style-type: none"> <li>Movimentos, erosões, fissuras, fendas e/ou alterações químicas do concreto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instabilidade estrutural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de reabilitação</li> </ul>
Sistema de monitoramento	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inoperacionalidade e/ou funcionamento deficiente dos dispositivos de monitoramento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ocorrência de funcionamentos anômalos do corpo da barragem e/ou fundação, sem possibilidade de deteção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de reabilitação e/ou substituição dos dispositivos de monitoramento</li> </ul>
Equipamentos hidromecânicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inoperacionalidade e/ou funcionamento deficiente das comportas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impossibilidade de operar com eficiência a tomada de água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de reabilitação e/ou substituição</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inoperacionalidade e/ou funcionamento deficiente das válvulas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impossibilidade de operar com eficiência a tomada de água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Intervenções de reabilitação e/ou substituição</li> </ul>

### **3.7 – PLANO DE MONITORAMENTO DO RESERVATÓRIO**

#### **3.7.1 - Plano de monitoramento da quantidade e qualidade da água e da sedimentação**

O monitoramento da qualidade da água represada, no caso particular do Açude Figueiredo, deve ser conduzido, não só visando detectar pontos ou níveis de poluição, mas também visando controlar a qualidade química da água com relação aos níveis de salinidade. Tal alerta surge em decorrência da bacia de contribuição do reservatório situar-se numa área onde ocorrem solos do tipo Planossolos Solódicos e Solonetz Solodizados, os quais associados ao elevado tempo de detenção do reservatório (3 anos), resulta em riscos significativos de salinização das águas represadas.

Tendo em vista que essa água servirá para o abastecimento das cidades de Alto Santo, Iracema, Potiretama, Pereiro e Ererê e da população ribeirinha de jusante, sua qualidade deverá se adequar, da melhor maneira possível, aos futuros usos (abastecimento humano, industrial, irrigação e dessedentação animal).

Para um estudo básico de avaliação de qualidade das águas, em vistas de seus usos preponderantes, de acordo com a classificação da Resolução CONAMA n° 020/86, sugere-se o seguinte plano de coleta:

- Seleção de estações de monitoramento no reservatório junto à entrada dos poluentes;
- Levantamento e caracterização das principais atividades poluidoras da bacia que podem influir na qualidade da água do reservatório;
- Estabelecimento de pontos de amostragem nos principais tributários do reservatório;
- Determinação dos pontos de amostragem ao longo do corpo do reservatório.

Durante a formação do reservatório deverão ser coletadas amostras de água para análise, desde o início até o enchimento completo do açude. Após o enchimento, deverão ser coletadas amostras de água, ao final da estação seca, e início, meio e final da estação chuvosa. Portanto, além da fase de amostragem inicial (enchimento do reservatório), deverão ser feitas, no mínimo, quatro amostragens anuais.

Para exames de rotina, a coleta pode ser efetuada em um ou dois pontos do reservatório, de preferência junto ao local de captação da água para abastecimento humano e próximo a



possíveis atividades poluidoras situadas nas imediações da bacia hidráulica, como por exemplo, próximo da área do Perímetro Irrigado Ema.

As dosagens a serem feitas, os parâmetros de classificação das águas e a própria classificação constam na Resolução CONAMA n° 020/86. Até que a SEMACE defina a classe em que será adequada a água do reservatório, esta deverá ser considerada como pertencente à Classe 2, a qual se destina ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional.

Uma vez implantado o barramento, a bacia será seccionada e o reservatório colherá a sedimentação oriunda de toda a área contribuinte. Portanto, a análise quantitativa e qualitativa dos sedimentos que serão depositados no reservatório permitirá o conhecimento das atividades exercidas na bacia hidrográfica, as quais possam vir a comprometer a qualidade do meio ambiente.

Após o desmatamento da área a ser inundada, deverão ser escolhidos pontos de amostragem da sedimentação, que serão materializados com marcos de concreto rentes ao solo, com áreas não inferiores a 1,0 m<sup>2</sup>, os quais deverão ser demarcados por bóias.

As amostras devem ser feitas duas vezes por ano, constando dos seguintes tipos de análise dos sedimentos:

- i) granulometria;
- ii) conteúdo de matéria orgânica;
- iii) metais pesados;
- iv) componentes de pesticidas;

sempre que sinais de alerta ocorrerem a partir das análises da água.

O acondicionamento das amostras coletadas deve ser feitos em frasco de boca larga de polietileno para a análise de metais, nutrientes e carga orgânica (DBO/DQO/COT), ou de vidros para compostos orgânicos, óleos e graxas. É recomendável congelar as amostras a 20°C para preservar a sua integridade, deixando uma alíquota sem refrigeração, para determinação da composição granulométrica.

### **3.7.2 - Plano de monitoramento do nível piezométrico e do nível do reservatório**

#### **3.7.2.1 - Monitoramento do Nível Piezométrico**

Os recursos hídricos subterrâneos e superficiais são alterados no seu equilíbrio original ante as modificações impostas pela construção de reservatórios. O ajuste dos elementos naturais,

decorrentes das alterações do meio abiótico como um todo, acarreta conseqüências que, dependendo do contexto geológico-hidrológico, podem ser danosas ou benéficas.

As áreas mais afetadas são aquelas marginais ao reservatório, onde a profundidade da superfície piezométrica original era inferior à cota final do lago. A superfície piezométrica quando sofre elevação tenderá a aflorar ou ficar muito próxima da superfície nos pontos topograficamente mais rebaixados. Esse efeito será menos pronunciado à medida em que se caminha para a montante e perpendicularmente ao reservatório. Apesar desse fato ser benéfico por aumentar a espessura saturada do aquífero livre e conseqüentemente a vazão dos poços, implica também na deteriorização do meio, acarretando problemas tais como: manutenção de áreas permanentemente alagadas, afogamento de raízes, aumento da taxa de evapotranspiração, redução da taxa de infiltração, aumento da salinização das águas subterrâneas, saturação de sub-leito de estradas e diminuição da capacidade de carga dos solos.

São esperadas alterações de nível do lençol freático, principalmente nas regiões próximas ao reservatório, já que ao longo do trecho do rio Figueiredo a influência do volume da vazão regularizada será bastante reduzida, não chegando a implicar riscos de elevação do lençol freático. O caminho a ser descrito pelas águas deverá ser conhecido, sendo para isso necessário que se determine a forma da superfície piezométrica ou nível freático, através do monitoramento de uma rede de poços, aproveitando-se os já existentes, localizados numa faixa de 2,0 km em torno do reservatório e das margens do rio Figueiredo. Convém iniciar o monitoramento antes da formação do reservatório para que possa ser estabelecido o efeito do enchimento e a partir daí adotar soluções para os problemas que possam surgir.

### **3.7.2.2 - Monitoramento do Nível do Reservatório**

A exploração do reservatório, cuja vazão se destinará ao abastecimento d'água das cidades de Alto Santo, Iracema, Potiretama, Pereiro e Ererê (abastecimento humano e industrial), ao desenvolvimento hidroagrícola e ao aumento da vazão regularizada do rio Figueiredo, causará impacto sobre o volume armazenado, principalmente quando se considerar as variações climáticas ocorridas na região, resultando em oscilações no nível do reservatório. Em virtude dessas alterações, faz-se imprescindível o monitoramento do seu nível, com vista à obtenção de elementos básicos que sirvam para propor soluções e tomadas de decisão.

Para o monitoramento do nível d'água do reservatório deverão ser efetuadas leituras diárias das réguas limnimétricas instaladas na torre de tomada de água e no vertedouro, com a

finalidade de controlar o seu nível de exploração. As leituras deverão ser efetuadas diariamente. A efetivação dessa medida constitui ponto importante para que a exploração do manancial se processe de forma segura, garantindo, assim, os objetivos pretendidos pelo projeto.

### **3.7.3 - Administração da faixa de proteção do reservatório**

O estabelecimento de uma faixa de proteção periférica ao lago visa a preservação do meio natural, com reflexos positivos sobre a vida silvestre, evitando atividades prejudiciais ao reservatório, e servindo de anteparo natural ao carregamento de sedimentos causado pela erosão laminar das encostas.

A proteção da reserva ecológica periférica ao reservatório exigirá a constituição de uma polícia florestal, que terá a seu cargo uma considerável tarefa educativa, devendo ser engajada nesta atividade a própria população local. Recomenda-se que a SEMACE estabeleça regras a serem seguidas pela população.

É importante que a área da faixa de proteção seja cercada, deixando-se apenas os corredores necessários para os acessos aos locais em que se desenvolvam as atividades de pesca, balneário, entre outras. No domínio da faixa de proteção não será tolerado o exercício de atividades agrícolas e/ou pecuárias de quaisquer espécies. No caso específico de pontos de bebida para o gado, recomenda-se a construção de valas que conduzam a água para fora da reserva, mesmo que seja preciso bombeamento. Outra atividade que pode vir a ser danosa ao ecossistema do reservatório é a pesca. A salga de peixe nas margens do lago deve ser expressamente proibida, face ao risco de salinização da água represada.

## 4 – EQUIPE E CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Apresenta-se neste capítulo a equipe necessária ao desenvolvimento das atividades operação, manutenção e monitoramento e os respectivos custos anuais.

A equipe de operação, manutenção e monitoramento deverá integrar os seguintes elementos:

- 1 técnico de nível médio associado à operação e manutenção da obra, permanentemente na obra;
- 2 técnicos de nível médio para monitoramento que se deslocarão à obra para medição das grandezas em observação e realização das visitas de inspeção visual de rotina com a periodicidade indicada no item 3.8;
- 2 técnicos de nível superior responsáveis pela operação e que procederão ao tratamento e análise dos elementos recolhidos pelas ações de monitoramento, manutenção e inspeção e elaborarão relatórios de análise do comportamento da obra e procederão às visitas de inspeção de especialidade.

No [Quadro 4.1](#) indicam-se custos imputáveis à equipe de operação, manutenção e monitoramento da barragem (valores em Reais de Janeiro de 2002).

Os custos indicados no Quadro 4.1 integram para além do custo horário do técnico (em gabinete ou em obra), a deslocação ao local da obra, o alojamento (se a estadia for superior a 1 dia) e a elaboração dos relatórios de inspeção com as seguintes periodicidades:

- i) inspeções de rotina: 1 relatório trimestral durante o primeiro enchimento; 1 relatório semestral durante o primeiro período de exploração e 1 relatório anual no período subsequente;
- ii) inspeções da especialidade: 1 relatório no início e fim de cada patamar de enchimento, com uma frequência mínima semestral; 1 relatório anual durante a exploração da obra.

Os custos totais anuais associados à atividade de exploração, manutenção e monitoramento da barragem variam com o período de vida da obra, estimando-se que atinjam os seguintes valores (expressos em Reais de Janeiro de 2002):

i) primeiro enchimento .....	148 150 R\$
ii) cinco anos após primeiro enchimento .....	124 380 R\$
iii) período de exploração posterior .....	95 180 R\$

**Quadro 4.1 – Equipe de Operação, Manutenção e Monitoramento da Barragem do Figueiredo. Estimativa de custos**

TÉCNICOS	QUANT.	FUNÇÕES	FREQÜÊNCIA	CUSTOS ANUAIS (R\$)
Técnico de operação	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsável pela exploração da obra (funcionamento de comportas e válvulas);</li> <li>• Responsável pela manutenção da obra;</li> <li>• Responsável pela leitura das escalas limnimétricas e dos medidores de vazão.</li> </ul>	• Permanente na obra.	50 000
Técnicos de monitoramento	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsáveis pelas campanhas de leitura dos dispositivos de monitoramento e pelas visitas de inspeção de rotina:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- primeiro enchimento.....</li> <li>- cinco anos após o 1º enchimento.....</li> <li>- período de exploração posterior.....</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mensal</li> <li>- trimestral</li> <li>- semestral</li> </ul>	21 100 11 130 6 680
Técnicos de nível superior	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Responsáveis pelas visitas de inspeção de especialidade:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- primeiro enchimento.....</li> <li>- cinco anos após o 1º enchimento.....</li> <li>- período de exploração posterior.....</li> </ul> </li> <li>• Responsáveis pela elaboração dos relatórios de análise de comportamento da obra:               <ul style="list-style-type: none"> <li>- primeiro enchimento.....</li> <li>- cinco anos após o 1º enchimento.....</li> <li>- período de exploração posterior.....</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- no início e final dos patamares*</li> <li>- anual</li> <li>- anual</li> <li>- no início e final dos patamares**</li> <li>- semestral</li> <li>- anual</li> </ul>	27 550 13 750 13 750 49 500 49 500 24 750

\* Com uma freqüência mínima anual

\*\* Com uma freqüência mínima semestral

Os custos anuais advindos da atividade de monitoramento da qualidade da água represada foram estimados em R\$ 3.078,00 (valor expresso em Reais de Janeiro de 2002), considerando a coleta de 20 amostras anuais, sendo cinco a cada trimestre.

Os custos anuais incorridos na execução do monitoramento da sedimentação foram estimados em R\$ 3.278,00 (valor expresso em Reais de Janeiro de 2002), considerando a coleta de 10 amostras anuais, sendo cinco a cada semestre.

Relativamente à faixa de proteção os custos anuais incorridos com esta atividade foram orçados em R\$ 4.320,00 considerando a contratação de 2 (dois) fiscais, recrutados juntos à população residente nas áreas periféricas ao reservatório (valor expresso em Reais de Janeiro de 2002).

**ANEXO**  
**INSPEÇÃO VISUAL DE ROTINA – FICHA TIPO**

---

---

**INSPEÇÃO VISUAL DE ROTINA  
FICHA TIPO**

<b>FIGUEIREDO</b>		Folha 1
Localização	Curso de água	<i>Rio Figueiredo</i>
	Município	<i>Alto Santo</i>
	Estado	<i>Ceará</i>
	Utilização da água	<i>Abastecimento público e Irrigação</i>
Dono da obra		<i>Governo do Estado do Ceará. Secretaria dos Recursos Hídricos</i>
Projeto		<i>Consórcio COBA/VBA.</i>
Gerenciamento		
Construção	Período	
	Empreiteiro geral	
	Construção civil (terraplenagens e concretos)	
	Impermeabilização da fundação	
	Equipamentos Hidromecânicos	
1º Enchimento		
Observação, Inspeção e Análise do Comportamento		<i>Período Observação, Inspeção e Análise do comportamento Observação</i>
Exploração	Entidade responsável pela exploração	<i>COGERH – Companhia de Gestão de Recursos Hídricos.</i>
	Técnico responsável pela exploração	
	Observação	
<b>INSPEÇÃO</b>		
Equipe		
Data		
Nível do reservatório		
Estado do tempo		
Estado do tempo na semana anterior		

**INSPEÇÃO VISUAL DE ROTINA  
FICHA TIPO**

<b>FIGUEIREDO</b>		Folha 2
<b>RESERVATÓRIO</b>	<p><i>A capacidade total do reservatório é de <math>519 \times 10^6 \text{ m}^3</math> à cota do nível normal do reservatório (99). Relativamente à geologia da área do reservatório ocorrem essencialmente migmatitos e gnaisses e, nas linhas de água, depósitos aluvionares.</i></p>	
	Vegetação das margens	
	Erosões/ravinamentos	
	Indícios de movimentos	
	Instabilidade de taludes	
	Perdas de água	
	Sedimentos acumulados	
<b>BARRAGEM</b>	<p><i>A barragem, de perfil tipo em enrocamento com núcleo argiloso, tem uma altura máxima acima da fundação de 43,5 m. A barragem é dotada de um núcleo central de areias argilosas e argilas magras e flancos em enrocamento de granulometria extensa. Os taludes de montante e jusante, são inclinados a 1:1,5 (V:H) dispondo o talude de jusante de 1 banquetta, à cota (90).</i></p>	
<b>COROAMENTO</b>		
	Estado geral	
	Fissuração/Fendas	
	Movimentos	
	Situações anormais	
<b>PARAMENTO DE MONTANTE</b>		
Proteção de rip-rap	Estado geral	
Aterro subjacente	Perturbações localizadas (erosões, fissuras, fendas, vegetação)	
	Movimentos (assentamentos, deslizamentos)	
Observações		
<b>PARAMENTO DE JUSANTE</b>		
Proteção de rip-rap	Estado geral	
Aterro subjacente	Perturbações localizadas (erosões, fissuras, fendas, ressurgências, zonas úmidas)	
	Movimentos (assentamentos, deslizamentos)	
Drenagem	Estado geral	



**INSPEÇÃO VISUAL DE ROTINA**

**FICHA TIPO**

<b>FIGUEIREDO</b>		Folha 3
<b>FUNDAÇÃO</b>	<p><i>A obra tem um desenvolvimento no boqueirão principal de 2 689 m, dispondo ainda de dois aterros de fecho de dois boqueirões secundários, um na ombreira esquerda e outro na ombreira direita.</i></p> <p><i>O vale de implantação da barragem é bastante aberto e topograficamente irregular, cortado por diversas linhas de água secundárias, criando “selas” associadas quase sempre a afloramentos gnáissicos de expressão e continuidade variável. Os afloramentos alinham-se grosseiramente segundo a direção NE-SW, tendo o solo residual de alteração da rocha, em geral, espessura inferior a 1 m.</i></p>	
<b>INSERÇÃO DA BARRAGEM NA FUNDAÇÃO</b>		
<b>BOQUEIRÃO PRINCIPAL</b>		
<b>Calha do rio</b>		
	Zonas úmidas	
	Ressurgências	
	Movimentos	
	Observações	
<b>Ombreira esquerda</b>		
	Zonas úmidas	
	Ressurgências	
	Erosões/ravinamentos	
	Movimentos	
	Observações	
<b>Ombreira direita</b>		
	Zonas úmidas	
	Ressurgências	
	Erosões/ravinamentos	
	Movimentos	
	Observações	
<b>BOQUEIRÃO SECUNDÁRIO DA OMBREIRA ESQUERDA</b>		
	Zonas úmidas	
	Ressurgências	
	Erosões/ravinamentos	
	Movimentos	
	Observações	
<b>ZONA DE LIGAÇÃO ENTRE O BOQUEIRÃO PRINCIPAL E O BOQUEIRÃO SECUNDÁRIO DA OMBREIRA ESQUERDA</b>		
	Zonas úmidas	
	Ressurgências	
	Erosões/ravinamentos	
	Movimentos	
	Observações	
<b>BOQUEIRÃO SECUNDÁRIO DA OMBREIRA DIREITA</b>		
	Zonas úmidas	
	Ressurgências	
	Erosões/ravinamentos	
	Movimentos	
	Observações	

**INSPEÇÃO VISUAL DE ROTINA  
FICHA TIPO**

<b>FIGUEIREDO</b>		Folha 4
<b>ZONA DE LIGAÇÃO ENTRE O BOQUEIRÃO PRINCIPAL E O BOQUEIRÃO SECUNDÁRIO DA OMBREIRA DIREITA</b>		
	Zonas úmidas	
	Ressurgências	
	Erosões/ravinamentos	
	Movimentos	
	Observações	
<b>SISTEMA DE OBSERVAÇÃO</b>		<i>O sistema de observação integra marcas superficiais, medidores de recalque, inclinómetros, medidores de vazão, piezómetros hidráulicos e escalas limnimétricas</i>
Marcas superficiais		
Inclinómetros		
Medidores de recalque		
Piezómetros hidráulicos		
Medidores de vazão		
Escalas limnimétricas		
Observações		
<b>VERTEDOIRO</b>		<i>O vertedouro localiza-se na ombreira direita, num boqueirão secundário, e é constituído por um canal de aproximação escavado em rocha com uma estrutura de controlo de vazões em concreto com 250 m de largura de perfil Creager, um canal vertedouro e uma bacia de dissipação escavados na rocha e, ainda, um canal de restituição ao rio. A vazão efluente para a cheia milenar é de 1 855 m<sup>3</sup>/s.</i>
<b>CANAL DE APROXIMAÇÃO</b>		
	Erosões/ravinamentos	
	Movimentos	
	Obstruções	
	Observações	
<b>SOLEIRA DO VERTEDOIRO</b>		
	Estado do concreto	
	Estado das juntas	
	Observações	
<b>CANAL DO VERTEDOIRO</b>		
	Erosões/ravinamentos	
	Outras deteriorações	
	Obstruções	
	Observações	
<b>BACIA DE DISSIPACÃO</b>		
	Erosões/ravinamentos	
	Outras deteriorações	
	Obstruções	
	Observações	
<b>CANAL DE RESTITUIÇÃO</b>		
	Erosões/ravinamentos	
	Outras deteriorações	
	Obstruções	
	Observações	

**INSPEÇÃO VISUAL DE ROTINA  
FICHA TIPO**

<b>FIGUEIREDO</b>		Folha 5
<b>TOMADA DE ÁGUA</b>	<p><i>A tomada de água é constituída por uma tubulação em aço carbono de 2000 mm embutida num maciço de concreto estrutural que atravessa o corpo da barragem e é controlada a jusante por duas válvulas dispersoras de 1 400 mm de diâmetro associados a válvulas borboleta localizadas imediatamente a montante, para eventual manutenção das válvulas dispersoras. O sistema dispõe ainda, a montante, de uma comporta tipo vagão de 1,8 m x 2,2 m manobrada por servomotor a partir de uma torre.</i></p>	
<b>TORRE DE MANOBRA</b>		
Estado do concreto		
Estado dos equipamentos		
Observações		
<b>PASSARELA</b>		
Estado do concreto		
Estado dos equipamentos		
Observações		
<b>CÂMARA DE VÁLVULAS</b>		
Estado do concreto		
Estado dos equipamentos		
Observações		
<b>LEGENDA:</b>		
? – Desconhece-se		
NT – Não tem		
ND – Não detectado		