



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 V - DETALHAMENTO DO  
PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM

VOLUME I - MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

JUNHO 2003

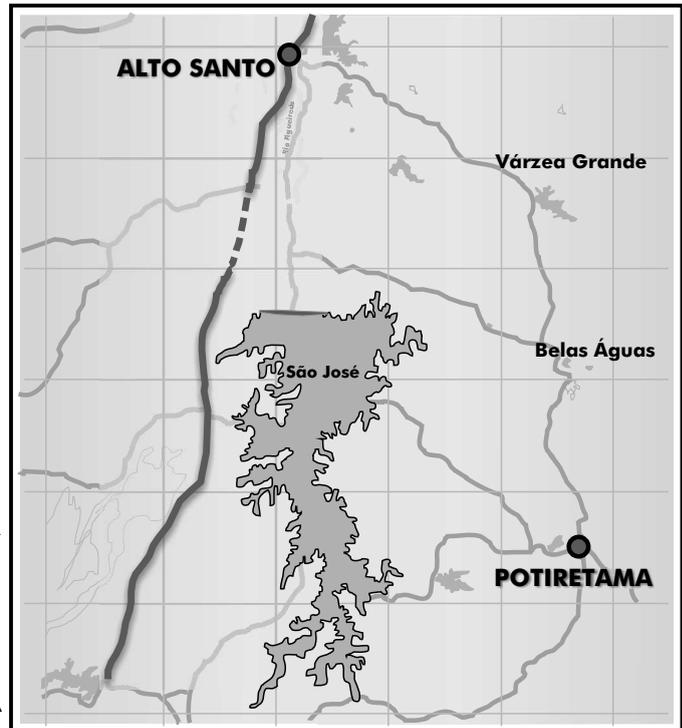




**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

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 V - DETALHAMENTO DO  
PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM**

**VOLUME I - MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO**

JUNHO 2003



**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

# **BARRAGEM DE FIGUEIREDO**

## **FASE V – DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO**

### **VOLUME I – MEMÓRIA DESCRITIVA DO PROJETO**

#### **APRESENTAÇÃO**

No âmbito do contrato 007/PROÁGUA/SRH/CE/2001, adjudicado pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) à COBA/VBA, vem o Consórcio apresentar o Detalhamento do Projeto Básico da Barragem de Figueiredo (Etapa B, Fase V). Em Agosto de 2002 foi entregue a versão provisória do Projeto Básico, objeto de exposição e análise conjunta com a SRH e o Painel de Segurança.

Os presentes estudos incorporam as sugestões feitas pelos Especialistas da SRH e do Painel de Segurança que motivaram algumas alterações e/ou pormenorizações à versão provisória anteriormente entregue.

O Projeto da Barragem de Figueiredo dispôs já de quatro fases intercalares, integradas na Etapa A dos estudos, já aprovada, em que foram elaborados os seguintes documentos:

- i) Fase I – Estudo de Alternativas para a Localização da Barragem;
- ii) Fase II – Estudos de Viabilidade Ambiental (EVA);
- iii) Fase III – Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto;
- iv) Fase IV – Estudos de Viabilidade Técnica, Financeira e Econômica.

Estes documentos motivaram reuniões de trabalho com a SRH em que houve ocasião de discutir e aprofundar os problemas e de escolher as soluções a pormenorizar.

Os estudos da Fase V foram organizados conforme se discrimina subseqüentemente.

DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO

**VOLUME I** – Memória Descritiva do Projeto

**VOLUME II** – Peças Desenhadas

**VOLUME III** – Especificações Técnicas

**VOLUME IV** – Lista de Quantidades e Estimativa Orçamental

**VOLUME V** – Relatório de Síntese

O presente documento constitui-se no VOLUME I – Memória Descritiva do Projeto.

# BARRAGEM DE FIGUEIREDO

## FASE V – DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO

### VOLUME I – MEMÓRIA DESCRITIVA DO PROJETO

#### ÍNDICE

	Pág.
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1.1</b>
<b>2 – PRINCIPAIS CONDICIONANTES E CARACTERÍSTICAS DA OBRA .....</b>	<b>2.1</b>
<b>3 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....</b>	<b>3.1</b>
3.1 – LOCALIZAÇÃO .....	3.1
3.2 – CARACTERÍSTICAS FIOGRÁFICAS E CLIMATOLÓGICAS .....	3.1
3.3 – CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS .....	3.7
3.4 – DEMANDAS ENVOLVIDAS NO PROJETO .....	3.8
3.5 – REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES .....	3.12
3.6 – ESTUDOS DE CHEIAS .....	3.13
3.6.1 – Análise de Frequência de Precipitações Extremas .....	3.13
3.6.2 – Simulação do Comportamento do Sangradouro do Reservatório .....	3.17
<b>4 – ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>4.1</b>
4.1 – INTRODUÇÃO .....	4.1
4.2 – GEOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA .....	4.1
4.2.1 – Litoestratigrafia .....	4.1
4.2.2 – Caracterização Estrutural .....	4.4
4.2.3 – Metamorfismo .....	4.5
4.3 – GEOLOGIA DO EIXO BARRÁVEL .....	4.5
4.4 – GEOMORFOLOGIA .....	4.7
4.5 – SISMOLOGIA .....	4.8
4.6 – TRABALHOS DE PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA .....	4.10
4.6.1 – Introdução .....	4.10
4.6.2 – Trabalhos já Realizados .....	4.12

4.7 – CONSIDERAÇÕES GEOTÉCNICAS.....	4.25
4.7.1 – Condições de Fundação.....	4.25
4.7.2 – Tratamento da Fundação.....	4.26
4.7.3 – Materiais de Construção.....	4.29
<b>5 – BARRAGEM.....</b>	<b>5.1</b>
5.1 – DESCRIÇÃO GERAL DA BARRAGEM .....	5.1
5.1.2 – Estudos anteriores.....	5.1
5.1.3 – Planta e perfil longitudinal.....	5.3
5.1.4 – Perfil tipo.....	5.4
5.1.5 – Largura do coroamento .....	5.7
5.1.6 – Sistema de drenagem .....	5.8
5.1.7 – Saneamento .....	5.9
5.2 – DIMENSIONAMENTO DA FOLGA.....	5.12
5.2.1 – Considerações iniciais.....	5.12
5.2.2 – Combinações de ações.....	5.14
5.2.3 – Quantificação das ações.....	5.15
5.2.4 – Definição da cota do coroamento.....	5.21
5.3 – CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS MATERIAIS DA BARRAGEM.....	5.22
5.3.1 – Considerações iniciais.....	5.22
5.3.2 – Materiais do núcleo (1).....	5.22
5.3.3 – Materiais de filtro (2).....	5.34
5.3.4 – Materiais dreno (3) .....	5.35
5.3.5 – Material dos maciços estabilizadores (4) .....	5.36
5.3.6 – Enrocamentos de proteção dos taludes (5) e (5´).....	5.40
5.4 – VALIDAÇÃO DA SEGURANÇA E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO .....	5.40
5.4.1 – Análise estática .....	5.40
5.4.2 – Análise de estabilidade sísmica .....	5.47
5.4.3 – Análise de tensões - deformações .....	5.48
5.4.4 – Estudos de percolação.....	5.56
5.4.5 – Dimensionamento da drenagem .....	5.65
5.4.6 – Análise do gradiente hidráulico de saída.....	5.67
5.4.7 – Análise do comportamento do filtro sub-vertical a jusante do núcleo .....	5.68
<b>6 – ÓRGÃOS HIDRÁULICOS: DIMENSIONAMENTO E CONCEPÇÃO DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS HIDROMECÂNICOS.....</b>	<b>6.1</b>
6.1 – AS CONCEPÇÕES GERAIS SELECIONADAS PARA O PROJETO BÁSICO .....	6.1
6.1.1 – A Concepção Geral do Vertedouro .....	6.1
6.1.2 – A Concepção da Tomada D’água .....	6.3

6.2 – DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DOS ÓRGÃOS HIDRÁULICOS .....	6.3
6.2.1 – Vertedouro .....	6.3
6.2.2 – Tomada D'água .....	6.14
<b>7 - PLANO DE MONITORAMENTO E PLANO DE PRIMEIRO ENCHIMENTO .....</b>	<b>7.1</b>
7.1 – PLANO DE MONITORAMENTO .....	7.1
7.1.1 – Avaliação do Índice Global de Risco .....	7.1
7.1.2 – Grandezas a Observar e Dispositivos de Monitoramento .....	7.3
7.1.3 – Freqüência das Leituras .....	7.10
7.1.4 – Instalação dos Dispositivos de Monitoramento .....	7.11
7.1.5 – Inspeção Visual .....	7.12
7.2 – PLANO DE PRIMEIRO ENCHIMENTO .....	7.14
7.2.1 – Inspeção Visual .....	7.15
7.2.2 – Grandezas a Observar e Freqüência de Recolha de Dados.....	7.16
7.2.3 – Patamares de Enchimento .....	7.17
7.3 – ELEMENTOS A CONSIDERAR NA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA.....	7.17
<b>8 – MEDIÇÕES .....</b>	<b>8.1</b>
<b>9 – CRONOGRAMA DE TRABALHOS .....</b>	<b>9.1</b>
9.1 – INTRODUÇÃO .....	9.1
9.2 – CONTROLO E DESVIO DO RIO DURANTE A CONSTRUÇÃO.....	9.3
9.3 – GESTÃO DE MATERIAIS .....	9.5
9.4 – DEFINIÇÃO DO PROGRAMA DE TRABALHOS.....	9.7
9.5 – CANTEIRO, ACESSOS E INSTALAÇÕES GERAIS .....	9.10
9.6 – GALERIA DE DERIVAÇÃO E DE TOMADA.....	9.10
9.7 – PREPARAÇÃO DAS JAZIDAS E ATERROS EXPERIMENTAIS .....	9.12
9.8 – TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO .....	9.13
9.9 – CORPO DA BARRAGEM.....	9.14
9.10 – VERTEDOIRO .....	9.17
9.11 – TRABALHOS DE FINALIZAÇÃO DA BARRAGEM.....	9.18
9.12 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	9.18

## **2 - PRINCIPAIS CONDICIONANTES E CARACTERÍSTICAS DA OBRA**

As obras objeto do presente estudo e cuja localização e caracterização geral se apresentam no Des.1, incluem a Barragem de Figueiredo e respectivos órgãos hidráulicos de segurança e exploração, objeto de análise na presente memória.

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 talwegues 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 protecção 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 fraturaçãohidráulica.

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 protecção 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 protecção 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 protecção 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, respetivamente, 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)

## **3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

### **3.1 - LOCALIZAÇÃO**

A Barragem Figueiredo no rio do mesmo nome, ficará localizada próximo da sede do município de Alto Santo, na bacia do rio Jaguaribe no estado do Ceará, criando um grande reservatório cuja função será a satisfação das demandas de água para consumo humano e irrigação na região.

Partindo-se de Fortaleza, o acesso ao local do barramento pode ser feito inicialmente, através de um trecho de 225 km da Rodovia BR-116, até a bifurcação desta com a Rodovia CE-205. A partir desta bifurcação, toma-se a direção sul e se percorre 18 km, pela CE-205, até a Cidade de Alto Santo. Desta cidade, segue-se, margeando o rio Figueiredo, por uma estrada vicinal que dá acesso direto, pela margem direita, ao local do eixo do barramento. Pela margem esquerda e utilizando a CE-205 também se chega ao local do futuro barramento, havendo no entanto que percorrer maior distância.

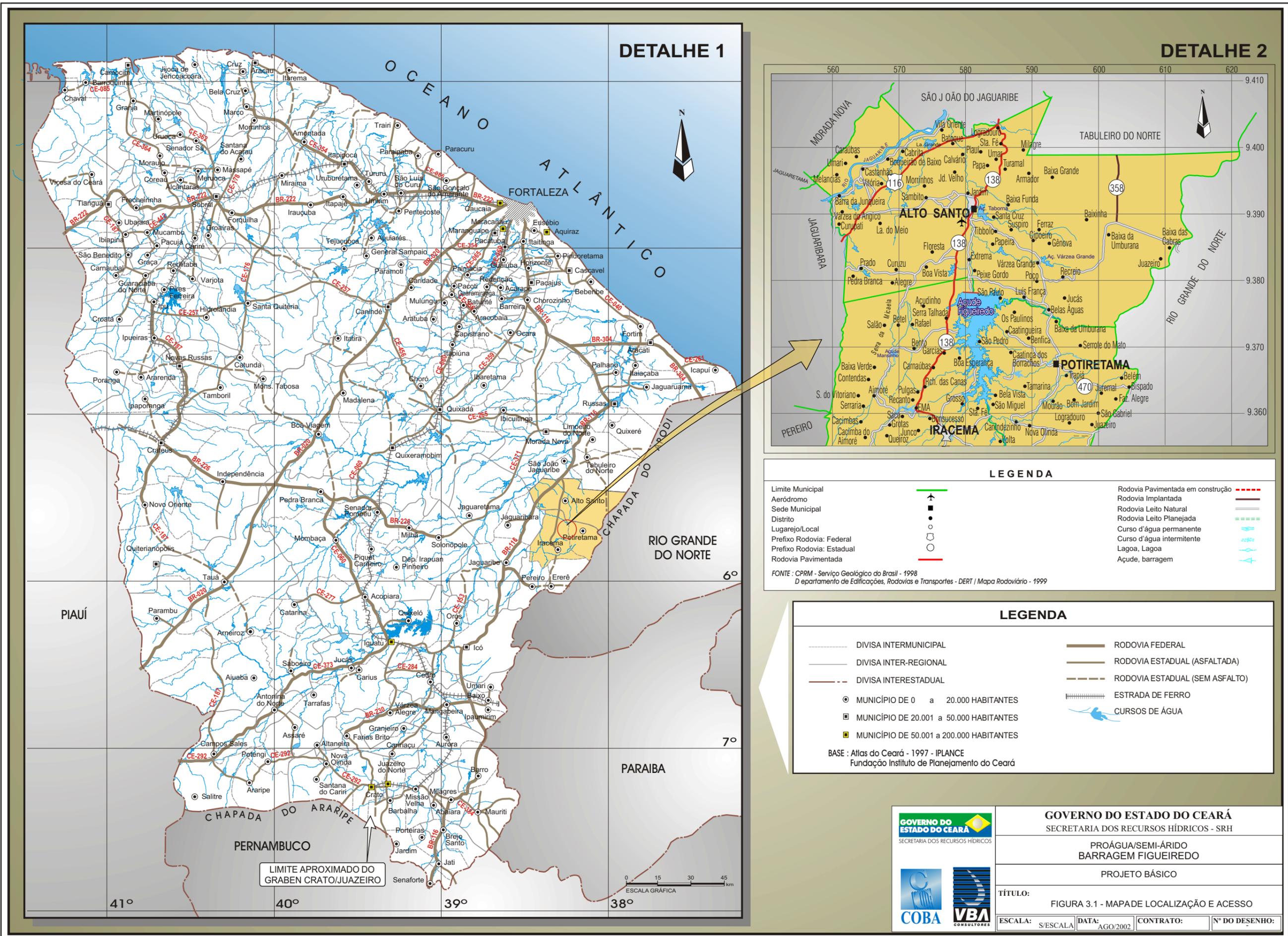
A Figura 3.1 a seguir apresenta a localização da futura barragem Figueiredo.

### **3.2 – CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS E CLIMATOLÓGICAS**

A bacia do açude Figueiredo situa-se na região do médio Jaguaribe, aproximadamente entre os paralelos 05°20' e 06°15' e os meridianos 38°00' e 38°45', abrangendo uma área de 1621 km<sup>2</sup>. O Mapa 3.1 apresenta a bacia hidrográfica do Açude Figueiredo e sua localização no contexto da bacia do Rio Jaguaribe e

A região onde se insere o açude Figueiredo é, comparativamente com outros locais dentro da bacia do Jaguaribe, privilegiada do ponto de vista de média pluviométrica anual, muito embora seja uma zona típica da irregular distribuição temporal das chuvas, característica do nordeste semi-árido brasileiro.

Na caracterização dos elementos climáticos na bacia deste açude tomou-se como base os registros da estação climatológica Morada Nova, dada a proximidade com o local e a inexistência de estações climatológicas dentro da bacia do mesmo. A Figura 3.2 apresenta as distribuições médias mensais da velocidade do vento, umidade relativa do ar e das temperaturas (máxima, média e mínima).



DETALHE 1

DETALHE 2

LEGENDA

- Limite Municipal
- Aeródromo
- Sede Municipal
- Distrito
- Lugarejo/Local
- Prefixo Rodovia: Federal
- Prefixo Rodovia: Estadual
- Rodovia Pavimentada
- Rodovia Pavimentada em construção
- Rodovia Implantada
- Rodovia Leito Natural
- Rodovia Leito Planejada
- Curso d'água permanente
- Curso d'água intermitente
- Lagoa, Lagoa
- Açude, barragem

FONTE : CPRM - Serviço Geológico do Brasil - 1998  
 Departamento de Edificações, Rodovias e Transportes - DERT / Mapa Rodoviário - 1999

LEGENDA

- DIVISA INTERMUNICIPAL
- DIVISA INTER-REGIONAL
- DIVISA INTERESTADUAL
- MUNICÍPIO DE 0 a 20.000 HABITANTES
- MUNICÍPIO DE 20.001 a 50.000 HABITANTES
- MUNICÍPIO DE 50.001 a 200.000 HABITANTES
- RODOVIA FEDERAL
- RODOVIA ESTADUAL (ASFALTADA)
- RODOVIA ESTADUAL (SEM ASFALTO)
- ESTRADA DE FERRO
- CURSOS DE ÁGUA

BASE : Atlas do Ceará - 1997 - IPLANCE  
 Fundação Instituto de Planejamento do Ceará



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

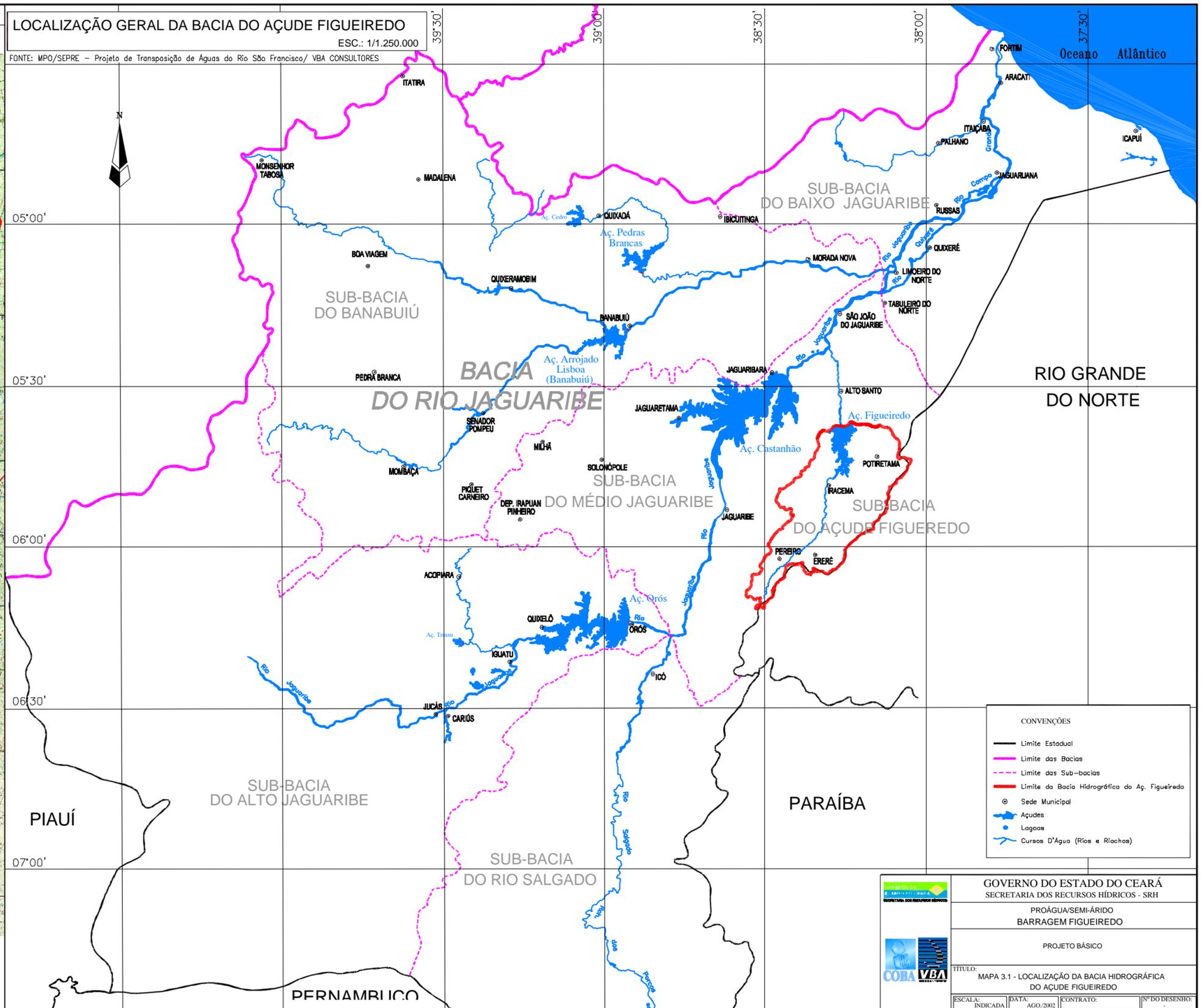
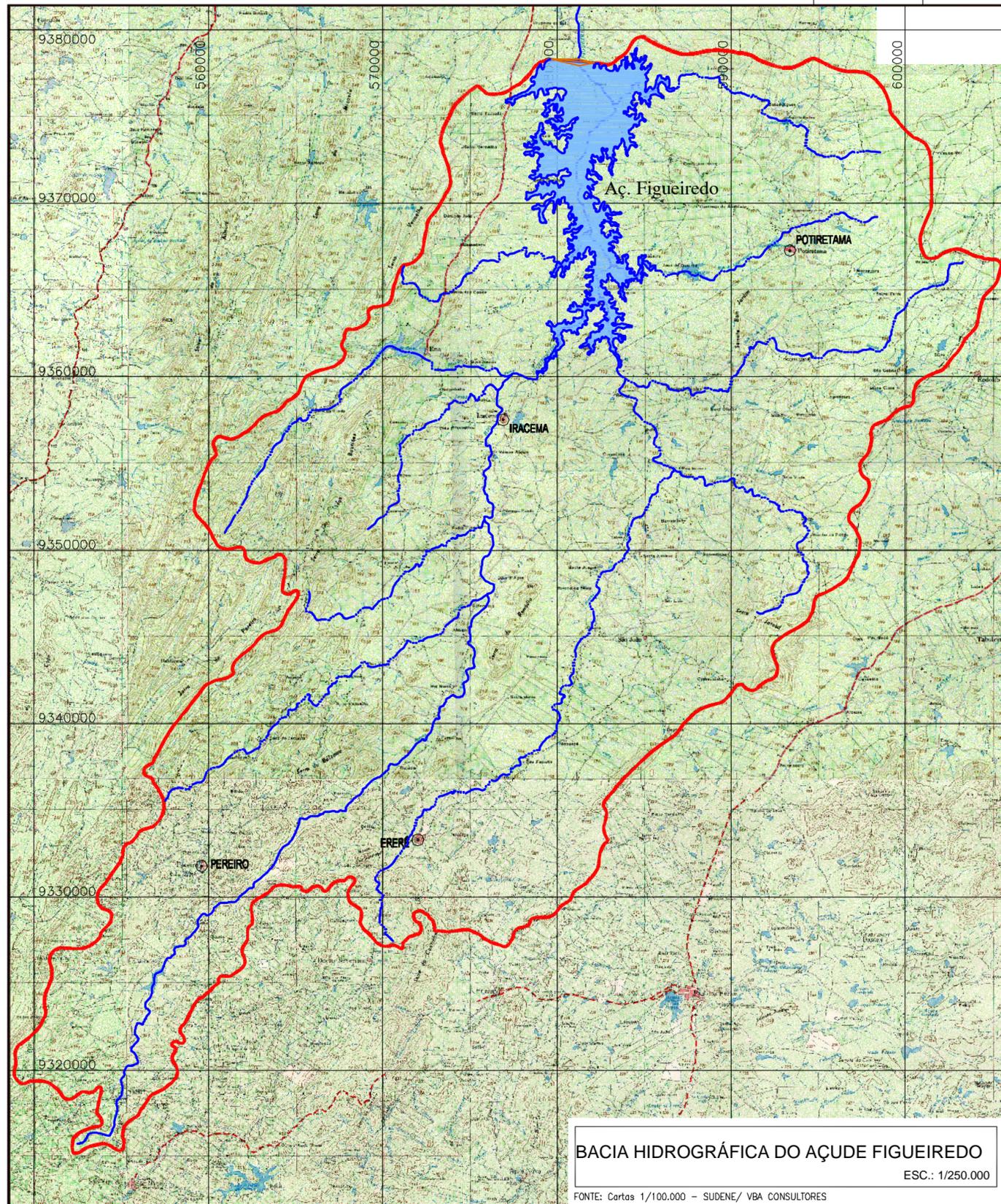
PROÁGUA/SEMI-ÁRIDO  
 BARRAGEM FIGUEIREDO

PROJETO BÁSICO

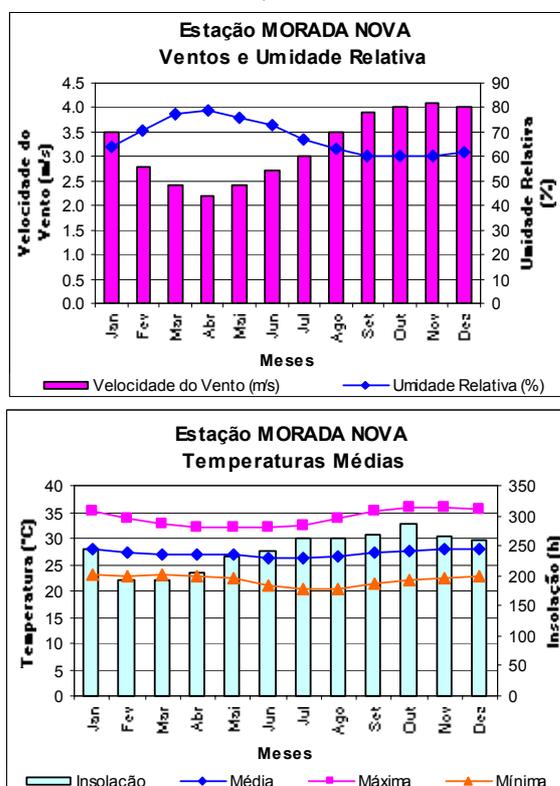
TÍTULO: FIGURA 3.1 - MAPADE LOCALIZAÇÃO E ACESSO

ESCALA: S/ESCALA DATA: AGO/2002 CONTRATO: Nº DO DESENHO:





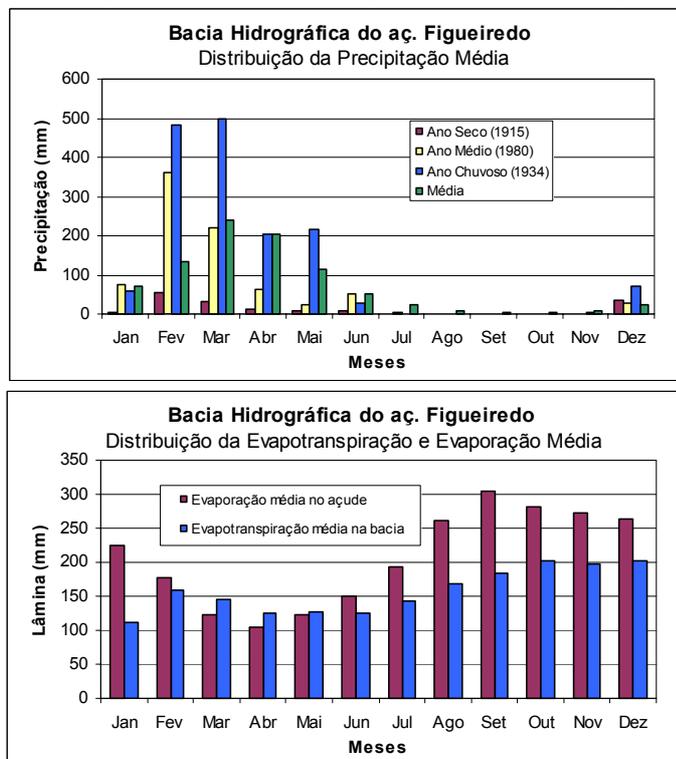
**Figura 3.2 – Médias Mensais de Vento, Umidade Relativa e Temperaturas Médias**



A evaporação anual, também obtida com base no posto de Morada Nova, atinge 2.476 mm, com o máximo de 305 mm em setembro (estação seca) e o mínimo de 105 mm em abril (estação chuvosa). A Figura 3.3 apresenta o comportamento intra-anual da evaporação e da evapotranspiração potencial tomada como base para a bacia hidrográfica da açude Figueiredo.

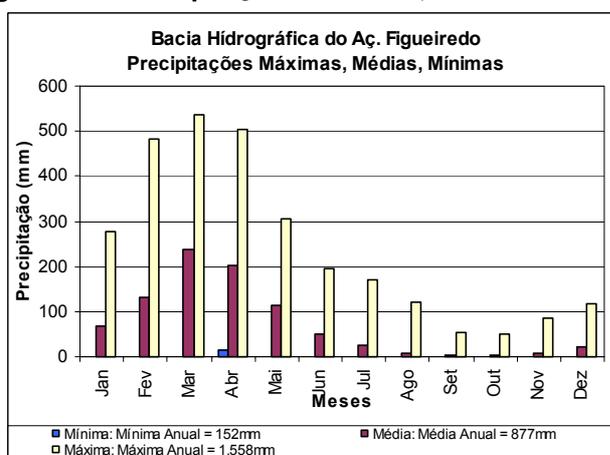
Em se tratando de caracterização pluviométrica, e efetuando a análise com base em precipitações mensais obtidas a partir de postos pluviográficos dentro da bacia do açude figueiredo, a Figura 3.3 mostra a distribuição mensal típica da precipitação para ano seco (1915), chuvoso (1974) e para um ano considerado normal (1987), bem como o comportamento intra-anual da precipitação média mensal na bacia hidrográfica do açude em estudo. É visível a diferença entre os anos secos e chuvosos; observa-se que para a precipitação total anual, o ano chuvoso apresenta um valor (1558mm) 78% maior que a média esperada (877mm) e 922% maior que a precipitação total no ano seco (153mm). Observa-se ainda que, mesmo nos anos mais chuvosos, a precipitação no quadrimestre agosto-novembro é praticamente nula.

**Figura 3.3 – Distribuição Temporal de Variáveis Climatológicas na Bacia Hidrográfica do Açude Figueiredo**



A Figura 3.4, por sua vez, retrata as máximas e mínimas precipitações mensais já registradas na série de precipitações médias na bacia do açude Figueiredo, apresentadas mês a mês conjuntamente com a precipitação média mensal; observa-se que apenas no mês de abril a mínima mensal registrada é diferente de zero.

**Figura 3.4 – Precipitações Máximas, Médias e Mínimas**

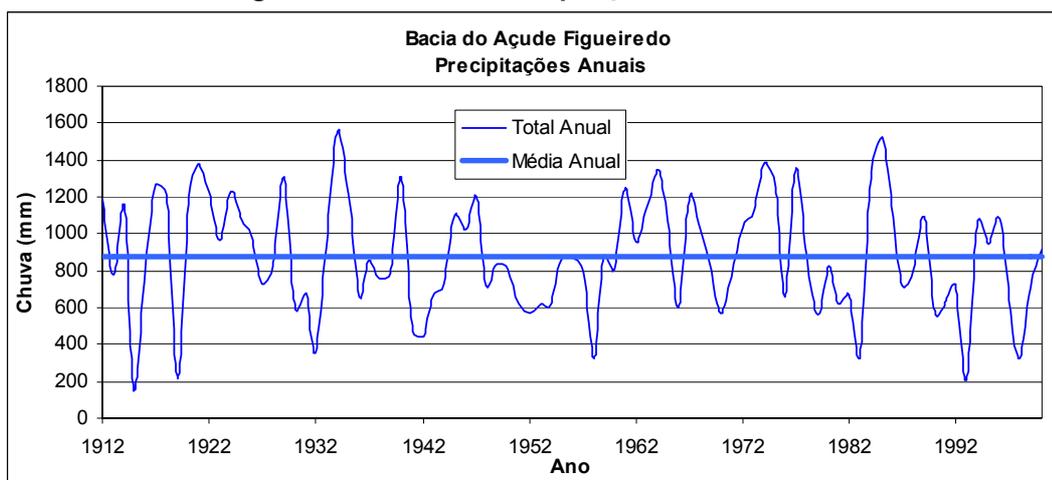


Uma análise mensal constata que o trimestre setembro-novembro apresenta as menores médias mensais, com valor inferior a 15 mm e representando apenas 1,7% da precipitação

média anual, bem como as menores máximas mensais (valores entre 53 e 86 mm), caracterizando-se, portanto, como o trimestre mais seco do ano. Com relação as máximas precipitações mínimas, médias e máximas registradas, caracteriza o trimestre fevereiro-abril como aquele que contém os meses mais chuvosos do ano, representado 65,7% da média anual, sendo registrado um máximo de 503 mm no mês de março e média de 238,7 mm no mesmo mês. Análise semelhante, feita a nível semestral, aponta janeiro-junho como o semestre mais chuvoso (92,2% da precipitação anual) e julho-dezembro o período mais seco do ano (7,8% da precipitação anual).

Em termos de totais anuais, o valor esperado para a precipitação é de 876,9 mm, com a mínima registrada correspondente a apenas 152,5 mm precipitados em 1915 (17,4% do valor esperado), enquanto que a máxima precipitação anual da série foi registrada em 1934 e representou 1.558,4mm (204% da média anual). A Figura 3.5 apresenta a distribuição inter-anual da precipitação na bacia do açude Figueiredo, graficada em conjunto com a média anual. Através desta é possível constatar que o triênio 1991/1993 é o que apresenta as mais baixas precipitações e que o período crítico 1948/1959 representa a mais longa seqüência de anos com total precipitado abaixo da média; por outro lado, as décadas de 20 e 60 foram as mais chuvosas de todos os 85 anos do traço histórico 1912 a 1996. Salienta-se ainda que desde o terço final da década de 80 (1987) têm-se observado valores de precipitações preponderantemente abaixo da média histórica, caracterizando um novo e importante período crítico que se estende até as observações atuais (2000).

**Figura 3.5 – Série de Precipitações Totais Anuais**



### 3.3 – CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS E FLUVIOMÉTRICAS

Os dados pluviométricos utilizados nos estudos do Açude Figueiredo têm basicamente duas origens distintas:

- Postos pluviométricos operados pela FUNCEME, cujos dados foram coletados junto ao referido órgão.
- Postos pluviométricos operados pela ANEEL. Os dados destes postos também foram obtidos junto ao referido órgão.

Os dados básicos dos postos disponíveis apresentam-se em sua maioria séries curtas e falhas. Após a análise desses dados decidiu-se trabalhar com apenas duas séries de dados diários, sendo uma representativa do posto Pereiro abrangendo o período de 1912 a 2000 e outra para do posto Açude Ema abrangendo o período de 1931 a 2000.

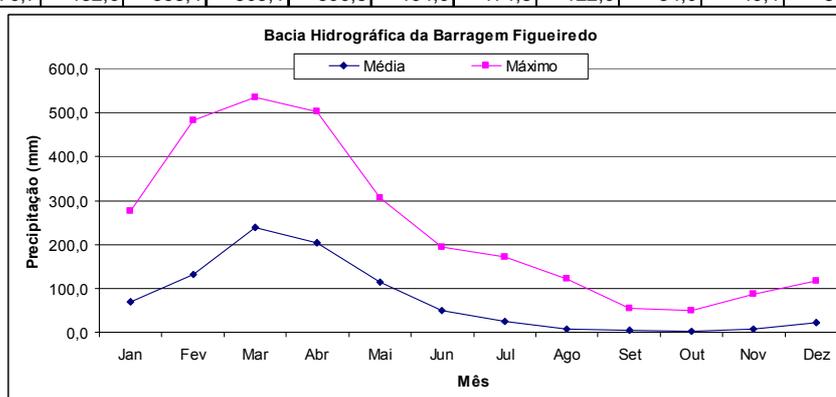
A série para o posto Pereiro foi obtida a partir da complementação da série da ANEEL (1912 a 1996) com os dados da série da FUNCEME (1978 a 2001), visto que os dois postos apresentam a mesma localização.

A série para o posto Açude Ema foi obtida pela complementação, a partir de regressão linear, da série da ANEEL para o Posto Açude Ema (1931 a 1996) com os dados da série da FUNCEME para o Posto Iracema (1974 a 2001) distante cerca de 8km daquele.

A partir destas duas séries de precipitação, gerou-se uma série única de precipitações diárias para a bacia do Figueiredo através do método dos polígonos de Thiessen. A estatísticas mensais da série resultante podem ser observadas na [Figura 3.6](#) a seguir.

**Figura 3.6 - Características Relativas a Série de Precipitação na Bacia do Açude Figueiredo**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Média</b>	69,2	133,1	238,7	204,0	114,6	49,1	23,9	7,0	4,8	3,6	6,2	22,7	876,9
<b>D.P.</b>	60,0	99,5	122,9	104,4	73,5	47,4	29,0	15,6	11,2	9,2	14,5	29,7	315,3
<b>C.V.</b>	0,9	0,7	0,5	0,5	0,6	1,0	1,2	2,2	0,0	0,0	0,0	1,3	0,4
<b>Mínimo</b>	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	152,5
<b>Máximo</b>	276,7	482,6	535,4	503,1	306,8	194,9	171,8	122,0	54,0	49,1	86,3	116,6	1.558,4



Para a obtenção de vazões afluentes ao Açude Figueiredo, onde não se dispõe de nenhum registro fluviométrico, foi utilizado o modelo de transformação chuva x deflúvio denominado MODHAC, desenvolvido por A. E. Lanna no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS.

Este modelo, desenvolvido para as condições do semi-árido nordestino e amplamente utilizado no Ceará, simula o processo de transformação chuva-deflúvio de forma contínua a nível diário, fornecendo os deflúvios médios mensais para a seção de controle da bacia hidrográfica.

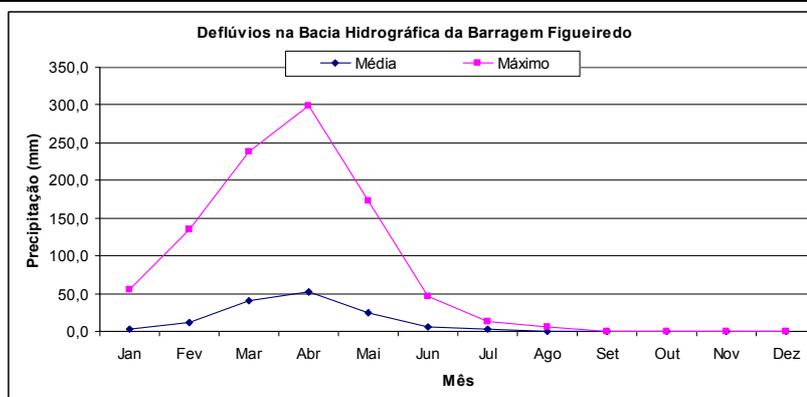
Como não existe, ao longo do Rio Figueiredo, sequer um posto fluviométrico que permita a calibração dos parâmetros do MODHAC, utilizou-se, na geração das vazões, os parâmetros referentes à bacia drenada pelo posto fluviométrico de Suassurana, calibrados e verificados a partir dos dados observados no período de 1914 a 1975, no estudo do IRTSF (Estudo de Inserção Regional da Transposição do São Francisco).

O posto fluviométrico de Suassurana drena a bacia hidrográfica de um tributário da alta bacia do rio Jaguaribe que tem sua confluência imediatamente a montante do reservatório de Orós: o riacho Suassurana. A área drenada pelo posto é bem representativa dos tributários do trecho médio do rio Jaguaribe. O local onde funcionava o posto fluviométrico é atualmente barrado pelo reservatório de Trussu.

A série deflúvios gerados para a bacia do açude Figueiredo, bem como as suas estatísticas principais estão apresentadas na Figura 3.7 a seguir.

**Figura 3.7 - Características Relativas a Série de Deflúvios da Bacia do Açude Figueiredo**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Média</b>	2,7	11,2	41,2	52,4	24,8	6,2	2,3	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	141,1
<b>D.P.</b>	9,6	23,5	50,8	56,8	32,0	7,7	3,2	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	126,3
<b>C.V.</b>	3,6	2,1	1,2	1,1	1,3	1,2	1,4	2,7	0,0	0,0	0,0	3,4	0,9
<b>Mínimo</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Máximo</b>	55,6	135,6	238,0	299,6	172,5	46,7	12,4	5,7	0,1	0,1	0,0	0,1	590,4
<b>C.E.</b>													16,09%



### 3.4 – DEMANDAS ENVOLVIDAS NO PROJETO

A Barragem Figueiredo criará um grande reservatório cuja função será a satisfação das demandas de água para consumo humano na região, designadamente nos municípios de Alto Santo, Ererê, Iracema, Pereiro e Potiretama. Possibilitará também a irrigação no vale a jusante da barragem e o reforço dos projetos de irrigação previstos no baixo Jaguaribe.

O novo reservatório se constituirá em um importante elemento da infra-estrutura hídrica da Bacia do Médio Jaguaribe. Pelos múltiplos benefícios que poderá proporcionar terá repercussão econômica e social na região, e de forma indireta em outras áreas circunvizinhas, como a zona de influência das cidades de Iracema e Alto Santo. Para estas Cidades, em primeiro lugar, deverá ser assegurado o abastecimento de água para consumo humano e animal. A barragem permitirá ainda o desenvolvimento de atividades associadas ao turismo, piscicultura e aproveitamento agrícola.

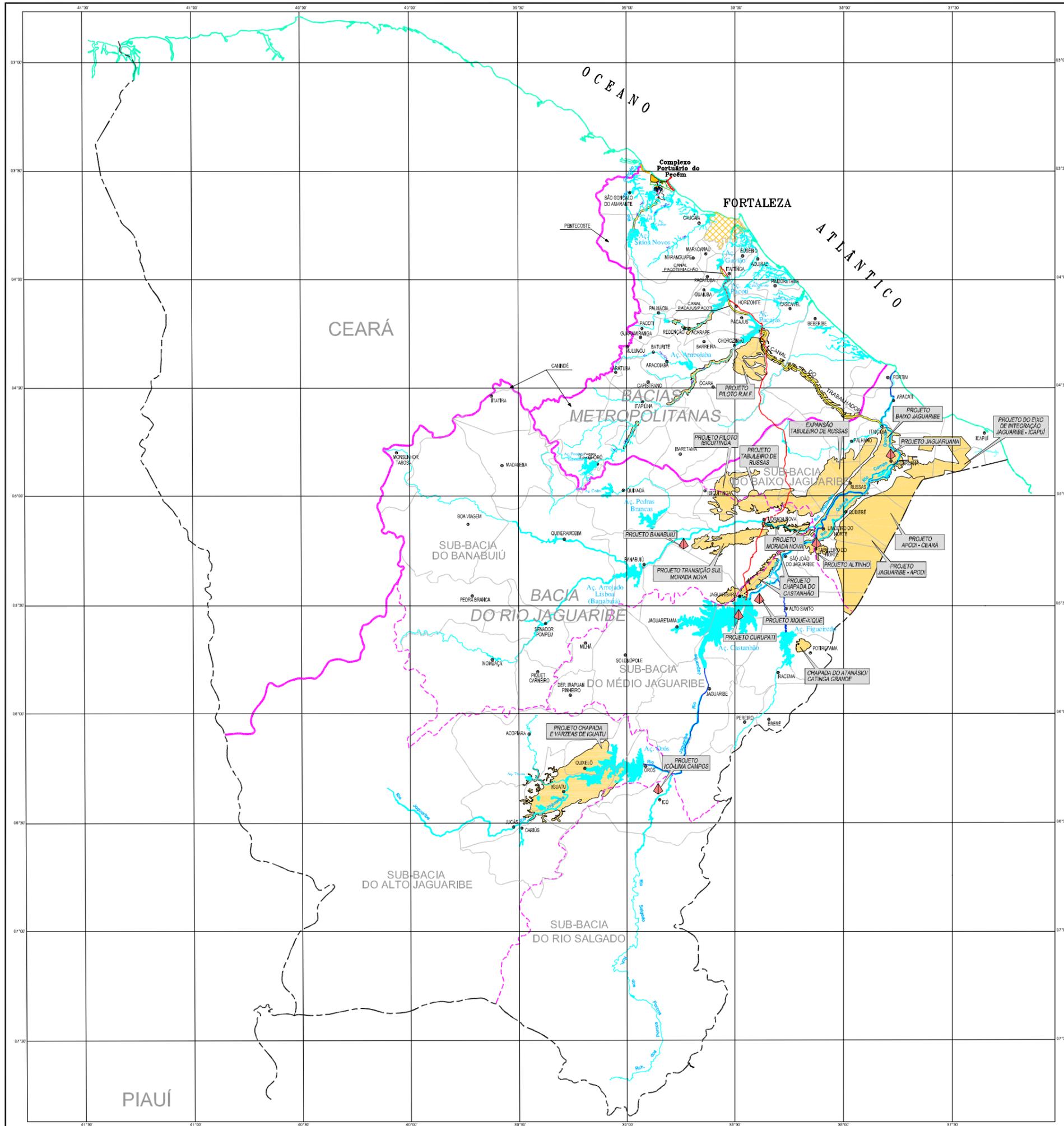
A criação desta nova reserva deverá prover reforço à perenização do baixo Jaguaribe, a qual será garantida conjuntamente pelos grandes reservatórios a montante (Orós, Castanhão, Banabuiú e Pedras Brancas), que funcionarão ainda como suprimento às demandas da Região Metropolitana de Fortaleza através do Eixo de Integração Castanhão-RMF.

O Quadro 3.1 a seguir apresenta, de acordo com os dados contidos no de acordo com o Plano de Gerenciamento de Águas do Jaguaribe, as demandas humanas e industriais no conjunto de municípios adjacente ao açude, que inclui além de Iracema e Alto Santo, os municípios de Ererê, Pereiro e Potiretama, enquanto que o mapa da Figura 3.8 apresenta os principais projetos de irrigação localizados no Jaguaribe, de acordo com o Projeto do Eixo de Integração Jaguaribe-RMF, inclusive os localizados a jusante do Figueiredo que por ele seriam integralmente ou parcialmente atendidos.

**Quadro 3.1 – Demandas Diretamente Agregadas ao Açude Figueiredo**

Município	Ano 2000			Ano 2030		
	Demanda Humana (l/s)	Demanda Industrial (l/s)	Total (l/s)	Demanda Humana (l/s)	Demanda Industrial (l/s)	Total (l/s)
Alto Santo	6.2	0.9	7.2	19.6	2.7	22.3
Ererê	2.4	0.0	2.4	5.9	0.0	5.9
Iracema	10.8	3.5	14.3	60.1	13.7	73.8
Pereiro	4.9	0.5	5.4	10.1	0.7	10.8
Potiretama	2.2	1.0	3.2	8.9	3.0	11.9
<b>Total</b>	<b>26.6</b>	<b>5.9</b>	<b>32.5</b>	<b>104.6</b>	<b>20.1</b>	<b>124.7</b>

Atualmente a irrigação na bacia do Jaguaribe a Jusante do Açude Figueiredo totaliza uma área de 9.772 ha o que corresponderia uma demanda média de 4,9 m³/s. As projeções de demandas de irrigação apontam para um total de 30.595 ha no horizonte 2020, correspondendo a uma demanda média de 15,3 m³/s.



Sub-Bacia	Projetos	Localização Município	Área (ha)	Áreas (ha)						
				2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
<b>BACIA DO JAGUARIBE</b>										
Salgado	Itá-Lima Campos <sup>1</sup>	Itá	2712	2.712	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
			288							
Alto- Jaguaribe	Projeto Chapada e Vazas de Igatu <sup>1</sup>	Iguatu e Quixelô	7.800	2.033	3.900	7.800	7.800	7.800	7.800	7.800
Médio Jaguaribe	Xique-Xique <sup>1</sup>	Alto Santo	580	125	560	560	560	560	560	560
	Atieno <sup>1</sup>	Tabuleiro do Norte	204	204	204	204	204	204	204	204
	Curupati <sup>1</sup>	Jaguarihana, Morada Nova e Alto Santo	5.000	0	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	Chapada do Castanhão <sup>1</sup>	Banabuiú	94	94	94	94	94	94	94	94
Banabuiú	Morada Nova <sup>1</sup>	Morada Nova e Limoeiro do Norte	3.611	3.611	3.611	3.611	3.611	3.611	3.611	3.611
	Transição Sul Morada Nova (Relatório) <sup>1</sup>	Morada Nova	5.000	0	2.800	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	Tabuleiro de Russas (2ª Etapa) <sup>1</sup>	Morada Nova	10.300	10.300	10.300	10.300	10.300	10.300	10.300	10.300
	Projeto Piloto Ibicuitinga <sup>1</sup>	Ibicuitinga e Morada Nova	3.000	0	1.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
	Jaguarihana <sup>1</sup>	Jaguarihana	201,55	202	202	202	202	202	202	202
Baixo Jaguaribe	Jaguaribe-Apod <sup>1</sup>	Limoeiro do Norte	5.393	3.669	5.393	5.393	5.393	5.393	5.393	5.393
	Eixo Castanhão-Icapuí <sup>1</sup>	Icapuí, Jaguaruana e Aracati	5.000	0	2.500	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
	Apod-Ceará <sup>1</sup>	Quixeré e Jaguaruana	5.000	0	1.250	2.500	3.750	5.000	5.000	5.000
	Baixo Jaguaribe <sup>1</sup>	T. Norte, L. Norte, Quixeré, Jaguaruana, Itaipaba	10.000	5.901	7.951	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
	Tabuleiro de Russas (2ª Etapa) <sup>1</sup>	Russas	5.000	0	2.500	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
<b>BACIAS METROPOLITANAS</b>										
	Projeto Piloto R.M.F. <sup>1</sup>	Cascavel, Chorozinho, Ocara	3.000	0	1.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Bacia Rio Pirangi	Canal do Trabalhador <sup>1</sup>	Aracati, Baturité, Cascavel, Chorozinho e Palhano	6.000	999	3.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
	Área a jusante do Açude Choré-Limão <sup>2</sup>	Quixelô e Choré	287	158	160	196	196	287	287	287
Bacia Rio Chorró	Área a montante do Aç. Pacajus <sup>2</sup>	Aracati, Baturité, Baturité, Capistrano, Choré, Itaipaba, Ocara e Quixelô	3.245	0	811	1.623	2.434	3.245	3.245	3.245
Bacia Rio Pacoti	Área a montante do Aç. Pacoti-Riachão <sup>2</sup>	Acarape, Guaiúbas, Pacajus e Redenção	712	0	178	356	534	712	712	712

NOTA: 1 - Irrigação Intensiva;  
2 - Irrigação Difusa.

**Legenda**

- Projetos de Irrigação Implantados e em operação
- Área ou Projeto de Irrigação
- Limite das Bacias Hidrográficas
- Limite das Sub-Bacias Hidrográficas
- Eixo de Integração Jaguaribe - R.M.F.
- Limite Estadual
- Canais Existentes
- Trechos de Rios Perenizados
- Sede Municipal
- Açudes Existentes e Lagos
- Curso d'Água (Rios, Riachos)

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

PROÁGUA/SEMI-ÁRIDO  
BARRAGEM FIGUEIREDO

PROJETO BÁSICO

TÍTULO: FIGURA 3.8  
PROJETOS DE IRRIGAÇÃO NA BACIA DO JAGUARIBE

ESCALA: 1/1500.000 DATA: AGO/2001 CONTRATO: Nº DO DESENHO:



A simulação do sistema integrado Castanhão-RMF, de acordo com os resultados apresentados nos Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração Castanhão-RMF, indica que existiriam recursos hídricos regularizáveis no baixo Jaguaribe para atender cerca de 22.956 ha correspondendo a uma demanda média de 11,5 m<sup>3</sup>/s, ou seja espera-se um déficit no baixo Jaguaribe de cerca de 3,8 m<sup>3</sup>/s, que poderia ser integralmente atendido pelo Açude Figueiredo.

Por conta desta escassez de recursos hídricos na bacia do Jaguaribe, imposições de limites à área irrigada teriam que ser aplicadas também em outros projetos de irrigação nas Bacias do Médio e Alto Jaguaribe e no Banabuiú. De acordo com os resultados da simulação do Sistema Integrado Castanhão-RMF, o déficit hídrico de irrigação para o horizonte 2020 nestas bacias totalizaria uma vazão média de 4,1 m<sup>3</sup>/s.

Parte desse déficit poderia ser indiretamente atendido pelo açude Figueiredo através de compensação hídrica com os açudes Orós e Castanhão, ou seja parte da regularização do Orós e do Castanhão comprometida com o Baixo Jaguaribe seria atendida pelo Figueiredo, liberando desta forma recurso daqueles açudes para atendimento das demandas do Alto e Médio Jaguaribe.

Na Figura 3.8 observa-se a identificação das áreas dos projetos de irrigação programados e existentes em toda bacia do Jaguaribe. Esta figura apresenta ainda a mancha de solos agricultáveis denominada Chapada do Atanásio, que se localiza bastante próxima ao açude Figueiredo, contudo em cotas mais elevadas. O aproveitamento desta mancha de solos com agricultura irrigada, fora objeto de um estudo específico, contratado pelo IPLANCE, de dezembro de 1994. Nesse estudo intitulado “Estudos de Reconhecimento do Sistema do Rio Figueiredo para o Plano de Aproveitamento Hidroagrícola da Chapa do Atanásio / Catinga Grande” preconiza-se a irrigação de 2.000 ha a partir dos recursos hídricos a serem acumulados no Figueiredo, que seriam aduzidos por um sistema com capacidade de 1480 m<sup>3</sup>/s e desnível geométrico total de 106,5m.

Somando-se as demandas humanas e industriais dos centros urbanos próximos ao reservatório (124,7 l/s) com os déficits de atendimento da demanda de irrigação projetada para o horizonte 2030 no Alto, Médio e Baixo Jaguaribe e Chapada do Atanásio (4,1 m<sup>3</sup>/s + 3,8 m<sup>3</sup>/s + 1,48 m<sup>3</sup>/s), se obtêm um total de 9,48 m<sup>3</sup>/s de demandas passíveis de atendimento direto ou através de compensação hídrica pelo Açude Figueiredo.

Dado que a vazão regularizada pelo açude Figueiredo seria no máximo igual a 5,5 m<sup>3</sup>/s e que as demandas humanas e industriais serão prioritariamente atendidas, a regularização

disponível para atendimento das demandas de irrigação seriam insuficientes para fazer face ao déficit de 9,24 m<sup>3</sup>/s. Assim sendo, as demandas de irrigação a serem atendidas pelo Figueiredo, deverão ser hierarquizadas em função de critérios que visem a maximização dos benefícios econômicos para a região.

Atualmente existem demandas de irrigação reprimidas, em grandes projetos já implantados ou em vias de implantação, devida a escassez de recursos hídricos que se atribui às baixas médias pluviométricas nos últimos anos e pela não efetivação completa da obra do açude Castanhão. Porém, mesmo contando com a regularização normal do açude Castanhão e dos demais grandes açudes da bacia do Jaguaribe (Orós, Banabuiú e Pedras Brancas), o balanço hídrico aponta para déficits no atendimento das demandas de irrigação iguais a 3,18 m<sup>3</sup>/s em 2005, 5,71 m<sup>3</sup>/s em 2010 e 7,40 m<sup>3</sup>/s em 2015. Tal fato aponta para a imediata oportunidade de implantação do açude Figueiredo, que representa o último significativo incremento das disponibilidades hídricas da bacia do Jaguaribe.

Ressalta-se que este déficit calculado refere-se aos projetos de irrigação programados no Jaguaribe mais a demanda potencial da Chapada do Atanásio, os quais representam apenas uma parte do potencial de solos agricultáveis na bacia do Jaguaribe que totalizariam uma área extremamente maior, ou seja o déficit hídrico potencial é bastante superior ao indicado. Além disso o açude Figueiredo é o último grande açude a ser construído na bacia do rio Jaguaribe, visto que, com a construção desse reservatório, praticamente se esgota a capacidade de regularização das vazões no rio Jaguaribe por meio de açudes.

Devido à magnitude dos déficits passíveis de atendimento pelo Açude Figueiredo, conclui-se que, no dimensionamento do volume máximo de acumulação do açude, deva-se buscar o maior valor possível que não implique em custos excessivamente altos para o m<sup>3</sup> de água regularizado.

### **3.5 – REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES**

Conforme dito anteriormente a operação do Figueiredo deverá estar inserida dentro de um sistema global de gerenciamento que abrangeria toda a bacia do Jaguaribe e as Bacias da RMF. Contudo, para fins de dimensionamento de seu volume ótimo, a operação do açude Figueiredo pode ser considerada de forma isolada, pois este se localiza em uma bacia onde não existem grandes reservatórios a montante nem a jusante, não apresentando portanto nenhuma interferência hidrológica com outros açudes, ou seja, não recebe afluições

significativas de vertimentos a montante e os seus vertimentos não podem ser armazenados a jusante.

Tendo em vista as considerações supracitadas, procedeu-se a simulação da operação do Figueiredo utilizando o mesmo modelo teórico definido nos Planos de Gerenciamento de Recursos hídricos do Ceará. Este modelo baseia-se na equação de balanço volumétrico no reservatório e utilização do mecanismo de volume de alerta para garantir em 100% do tempo o suprimento mínimo de 50% da Vazão Regularizada.

Na Figura 3.9 a seguir apresenta-se um resumo dos resultados de vazões regularizadas, custo estimado total do empreendimento e custo (em valores presentes considerando um taxa de 12% aa) do volume regularizado para diferentes cotas máximas de acumulação.

Verifica-se, pelos resultados apresentados, que a vazão regularizada com custo unitário mínimo (40 R\$/1000 m<sup>3</sup>) corresponde a vazão regularizada de 3,9 m<sup>3</sup>/s. Contudo, de acordo com o conceito de maximização da vazão regularizada para atender tanto quanto possível os déficits potenciais das demandas de irrigação do Médio e Baixo Jaguaribe adotou-se o valor de 4,4 m<sup>3</sup>/s para vazão regularizada, que corresponde a um custo específico 20% superior ao mínimo (48 R\$/1000 m<sup>3</sup>).

A Figura 3.10, apresenta o resultado da evolução do reservatório considerando a regularização supracitada (4,4m<sup>3</sup>/s com 90% de garantia), observa-se a ocorrência de 3 períodos críticos: um em meados de 1915, outro entre 1940 e 1960 e o último a partir de 1989 e estendendo-se até o final da simulação (ano 2000). Este último período crítico reflete a situação de baixíssimas médias pluviométricas observadas nos últimos anos na Bacia do Jaguaribe.

## **3.6 – ESTUDOS DE CHEIAS**

### **3.6.1 – Análise de Freqüência de Precipitações Extremas**

Nos estudos de análise de freqüência de eventos pluviométricos extremos, a série de precipitações diárias utilizadas foi a mesma descrita no item 3.3 – Pluviometria, que abrange o período de 1912 a 2000.

Na determinação da amostra de precipitações máximas para o ajuste da distribuição de freqüência, foi escolhido um único valor máximo anual, isto é, a série foi constituída apenas com os máximos anuais, constituindo o que se denomina de série de máximos anuais ou série anual.

**Figura 3.9 – Resultados da Simulação do Açude Figueiredo para Diferentes Cotas Máximas de Acumulação**

Altura da Barragem (m)	Cota Máxima de Acumulação (m)	Volume Máximo (m³)	Vol Alerta (%)	Garantia Verificada (%)	Vazão Regularizada (m³/s)	Custo Total da Barragem (106R\$)	Custo Atualizado do m³ Regularizado (R\$/10³m³)
20	85	74,1	42,0%	90,0%	1,14	21,8	79,37
21	86	94,5	40,0%	90,0%	1,41	23,4	68,72
22	87	114,9	39,0%	90,0%	1,69	24,9	61,12
23	88	135,3	39,0%	90,0%	1,97	26,5	55,69
24	89	155,6	34,0%	90,0%	2,20	28,0	52,78
25	90	176,0	34,0%	90,0%	2,47	29,6	49,61
26	91	208,2	26,0%	90,0%	2,79	31,1	46,20
27	92	240,4	23,0%	90,0%	3,15	32,6	42,94
28	93	272,6	23,0%	90,0%	3,41	34,2	41,53
29	94	304,8	21,0%	90,0%	3,65	35,7	40,54
30	95	336,9	20,0%	90,0%	3,90	37,2	39,58
31	96	382,6	19,0%	90,0%	4,08	40,9	41,57
32	97	428,3	20,0%	90,0%	4,20	44,6	44,02
33	98	473,9	19,0%	90,0%	4,32	48,3	46,34
34	99	519,6	19,0%	90,0%	4,43	52,1	48,77
35	100	565,2	19,0%	90,0%	4,54	55,7	50,82
36	101	626,3	19,0%	90,0%	4,65	60,7	54,09
37	102	687,3	18,0%	90,0%	4,75	65,7	57,32
38	103	748,3	18,0%	90,0%	4,88	70,7	60,04
39	104	809,3	17,0%	90,0%	4,95	75,7	63,39
40	105	870,4	16,0%	90,0%	5,05	80,7	66,24
41	106	951,1	16,0%	90,0%	5,16	91,9	73,82
42	107	1031,8	15,0%	90,0%	5,21	103,1	82,02
43	108	1112,6	15,0%	90,0%	5,25	114,3	90,23
44	109	1193,3	14,0%	90,0%	5,28	125,5	98,50
45	110	1274,0	14,0%	90,0%	5,30	136,7	106,89

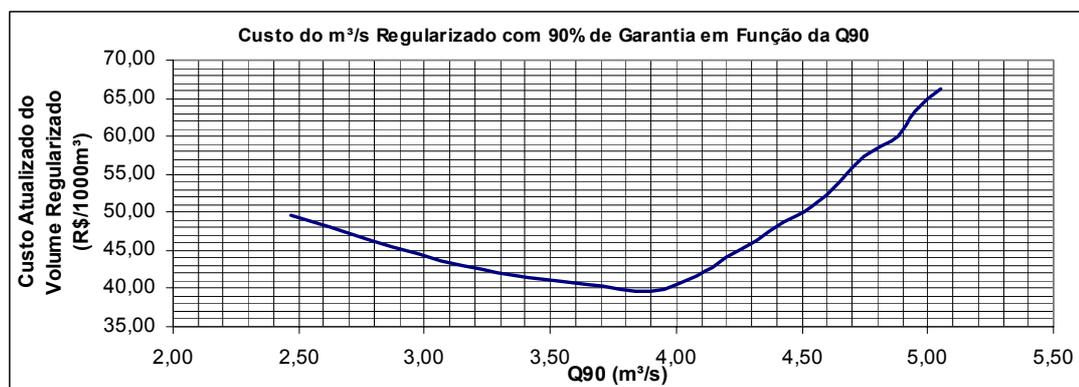
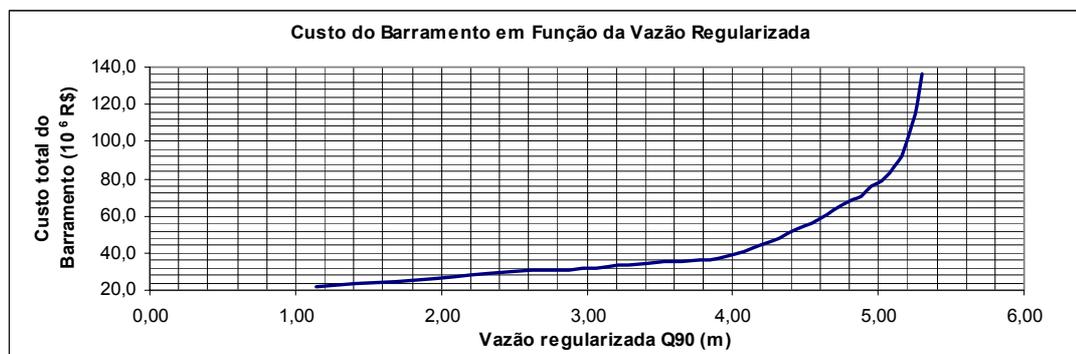
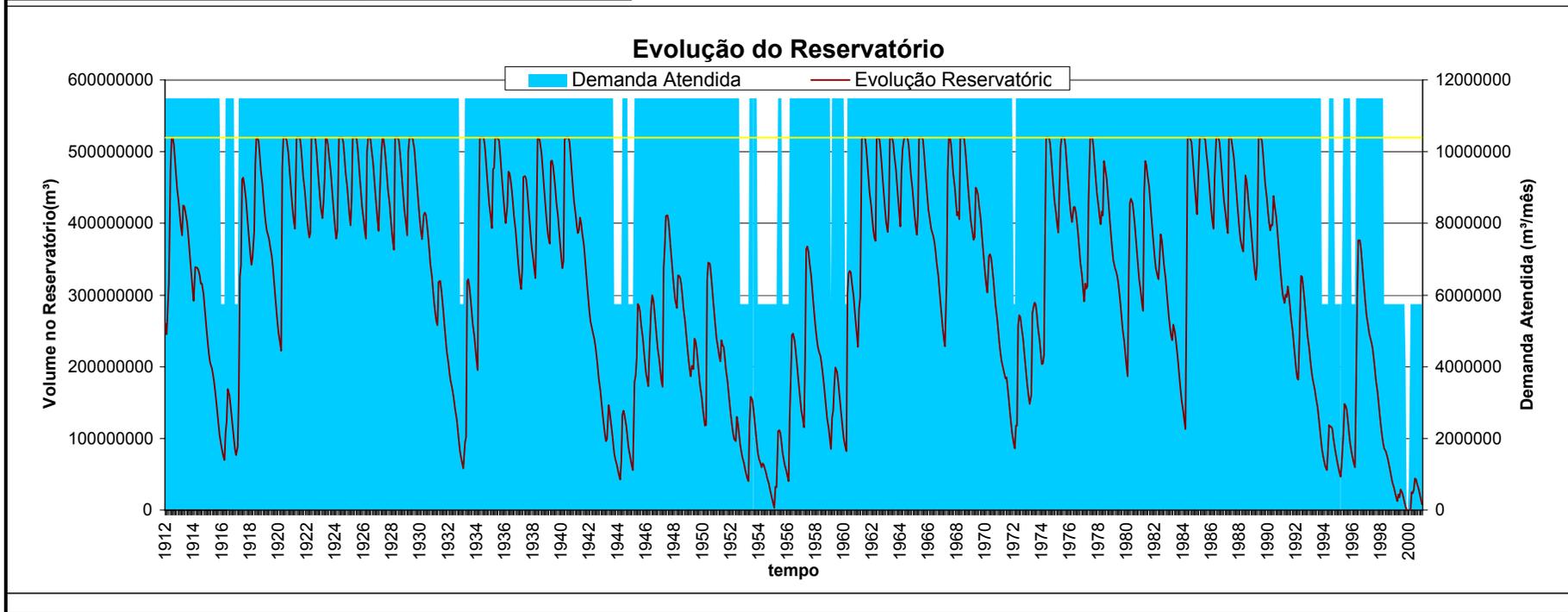


Figura 3.10 - RESUMO DA SIMULAÇÃO DO AÇUDE FIGUEIREDO

Nome do Eixo		CAV - Eixo Cajazeiras		
Nome do Açude		Figueiredo		
Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )		1621,0		
Volume Útil (hm <sup>3</sup> )		519,6		
Cota Máxima (m)		99,0		
	Demanda (m <sup>3</sup> /s)	Volume de Alerta (% do Volume Útil)	Garantia Exigida (% dos meses)	Garantia Verificada (% dos meses)
Normal	4,4	0%	90%	90%
Emergência	2,2	19%	100%	100%

Ano Início	Ano Fim	Vol. Med. Afluente (hm <sup>3</sup> /ano)	Vol. Med. Evaporado (hm <sup>3</sup> /ano)	Vol. Med. Efluente (hm <sup>3</sup> /ano)	Vol. Med. Vertido (h <sup>3</sup> /ano)
1912	2000	228,7	31,1	130,6	69,9



Foram construídas séries de máximos anuais para precipitação de duração de 1, 2, 3 e 4 dias de duração, a fim de se obter uma hidrógrafa de projeto com duração superior ao tempo de concentração da bacia.

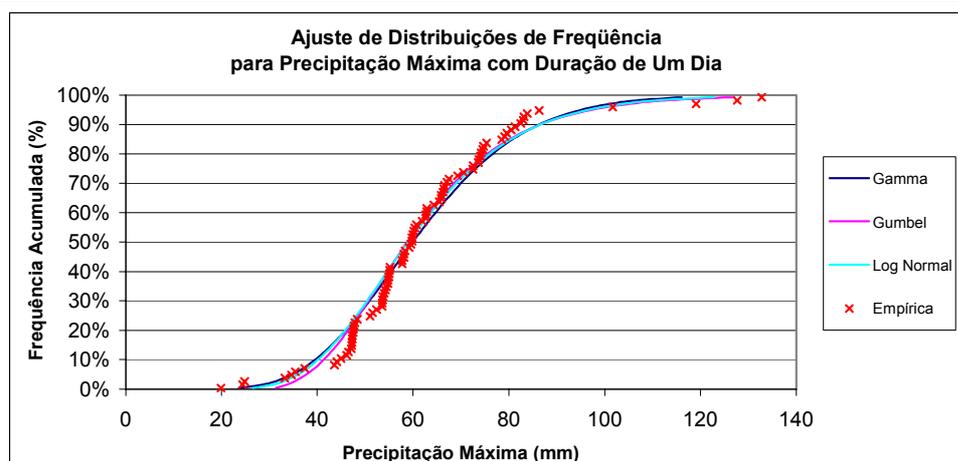
O software utilizado para o procedimento de ajuste das distribuições foi o STATISTICA e os testes de ajuste das distribuições aplicados foram Chi-quadrado e Kolmogorov-Smirnov.

Os resultados do teste Kolmogorov-Smirnov indicaram que a distribuição que melhor se ajustava aos valores máximos de precipitação de duração 1, 2, 3 e 4 dias é a distribuição Gumbel, o que implicou na escolha da mesma para o cálculo das chuvas, para cada duração, associadas aos períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos. Os parâmetros da distribuição Gumbel ajustada para a série de máximos de um dia de duração são:  $\nu = 53,19$  e  $\alpha = 14,76$ .

A Figura 3.11 a seguir apresenta o ajuste das distribuições de frequência para a série de máximos de um dia de duração.

**Figura 3.11 – Ajuste das Distribuições de Frequência**

Tempo de Recorrência (anos)	Precipitação Máxima Diária (mm)		
	Gumbel	Gamma	Log Normal
100	121.1	112.8	118.5
500	144.9	128.6	139.9
1000	155.1	135.0	149.0
10000	189.1	155.2	180.0



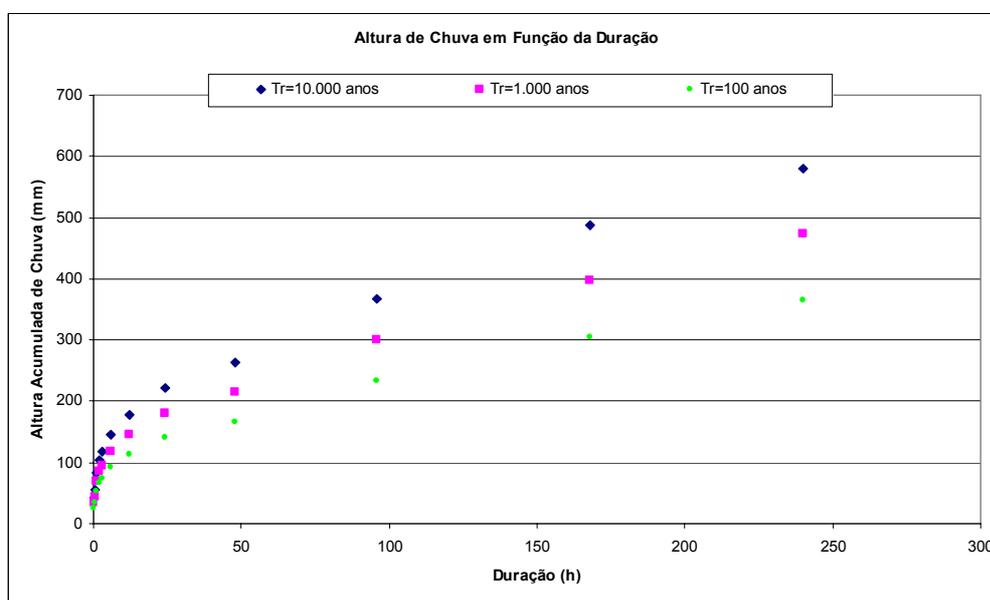
A determinação das relações precipitação/descarga para durações inferiores a um dia foi obtido através do Método das Isozonas, apresentado por Taborga Torrico (1975). Este procedimento encontra-se descrito mais detalhadamente no volume “Relatório de Hidrologia” deste projeto.

Os resultados da aplicação desta metodologia estão indicados nos Quadro 3.2 e na Figura 3.12 a seguir.

**Quadro 3.2 - Chuva Desagregada para Distintas Durações (Valores em mm)**

tempo(min)	6	15	60	120	180	360	720	1440	2880	5760	10080	14400	
tempo(hs)	0.100	0.250	1.0	2.0	3.0	6.0	12.0	24.0	48.0	96.0	168.0	240.0	
tempo(dias)	0.004	0.010	0.042	0.083	0.125	0.250	0.500	1.0	2.0	4.0	7.0	10.0	
Tempo de Recorrência	100	26.4	34.9	53.3	65.9	74.5	92.1	113.8	140.6	166.6	233.2	306.1	365.1
	500	31.6	41.8	63.9	79.0	89.5	110.6	136.7	169.0	200.1	280.5	369.4	440.2
	1000	33.8	44.8	68.5	84.6	95.8	118.4	146.4	181.0	214.5	300.8	396.7	472.6
	10000	41.2	54.6	83.5	103.2	116.9	144.5	178.7	220.9	262.2	368.3	487.1	579.9

**Figura 3.12 – Precipitação Total em Função da Duração**



### 3.6.2 – Simulação do Comportamento do Sangradouro do Reservatório

A verificação do sangradouro do reservatório foi feita a partir da simulação dos eventos pluviométricos extremos relacionados aos tempos de recorrência de 100, 1000 e 10000 anos.

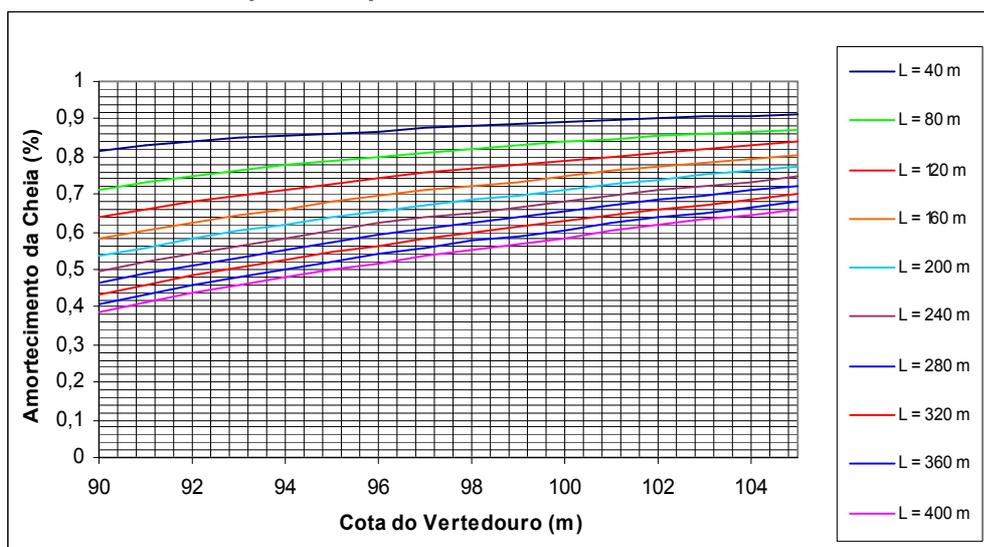
A metodologia utilizada para obtenção da cheia de projeto da barragem foi a da Onda Cinemática, implementada a partir do modelo matemático HEC-1.

Para a simulação do amortecimento da cheia no reservatório e do escoamento no vertedouro utilizou-se a metodologia de Pulz, também implementada no modelo HEC 1.

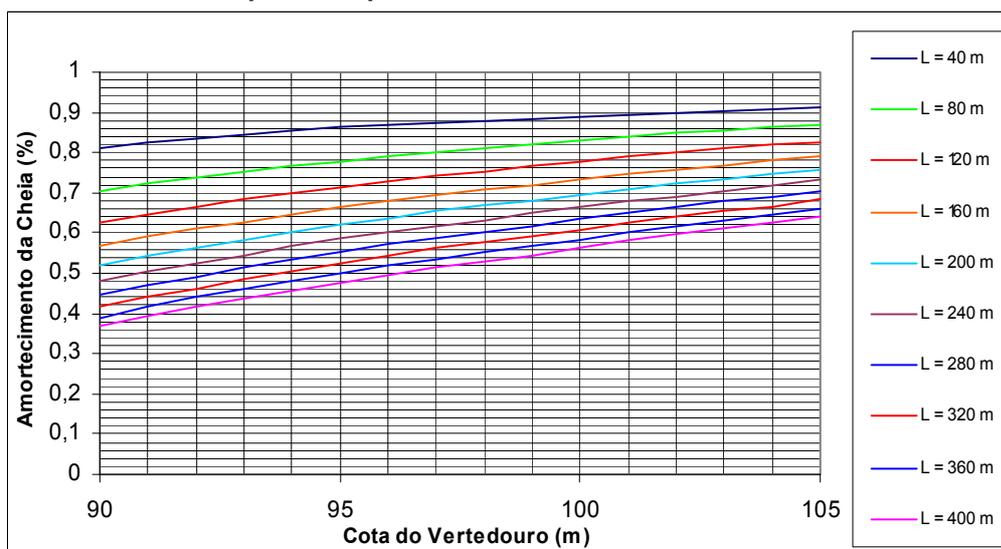
A descrição detalhada da aplicação destas metodologias encontra-se no volume correspondente ao Relatório de Hidrologia.

Apresenta-se a seguir os resultados de um estudo paramétrico para dimensão do vertedouro entre 40 m e 400m e cotas da soleira variando de 90 a 105. Nas Figuras 3.13 a 3.15 se observa o percentual de amortecimento do pico da cheia para diversas cotas e larguras do vertedouro e nas Figuras 3.16 a 3.18 as alturas máximas da lâmina vertente para as mesmas simulações.

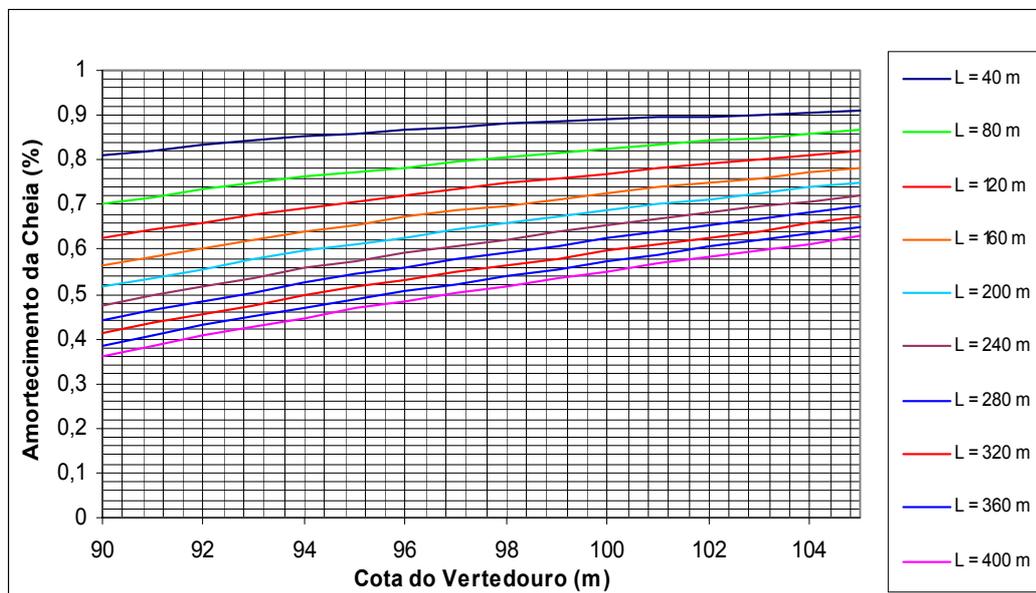
**Figura 3.13 – Amortecimento da Cheia em Função da Largura e da Cota da Soleira do Vertedouro para Tempo de Recorrência de 100 anos**



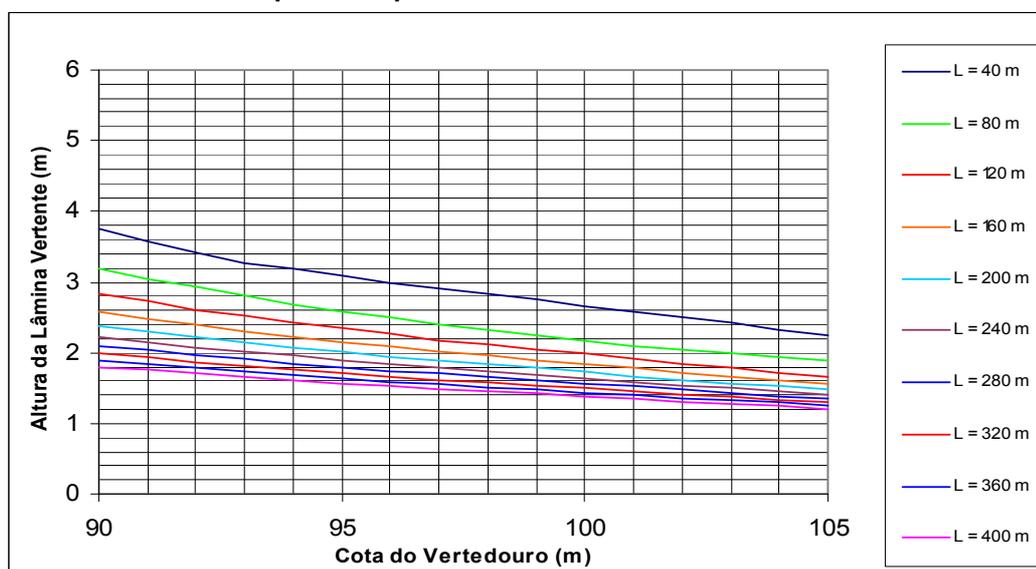
**Figura 3.14 – Amortecimento da Cheia em Função da Largura e da Cota da Soleira do Vertedouro para Tempo de Recorrência de 1000 anos**



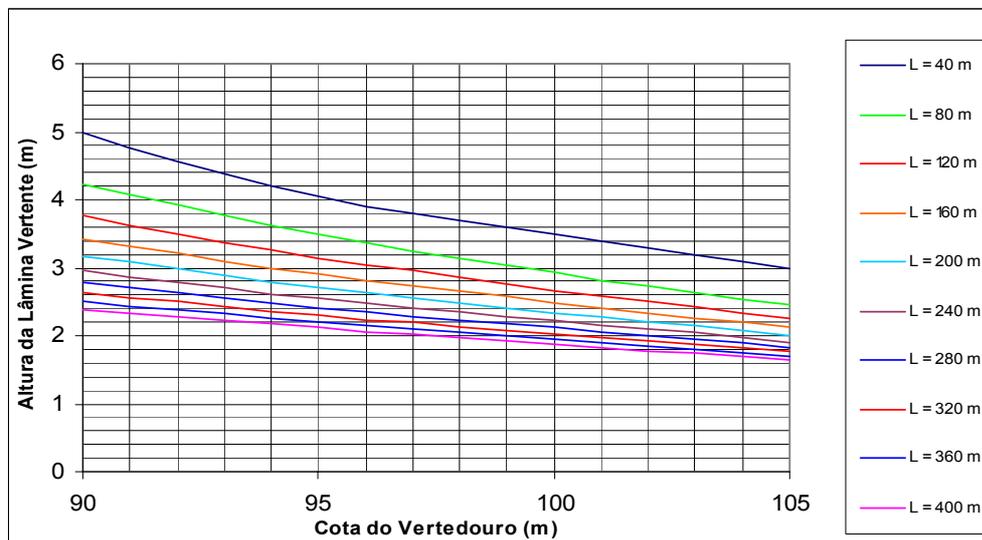
**Figura 3.15 – Amortecimento da Cheia em Função da Largura e da Cota da Soleira do Vertedouro para Tempo de Recorrência de 10000 anos**



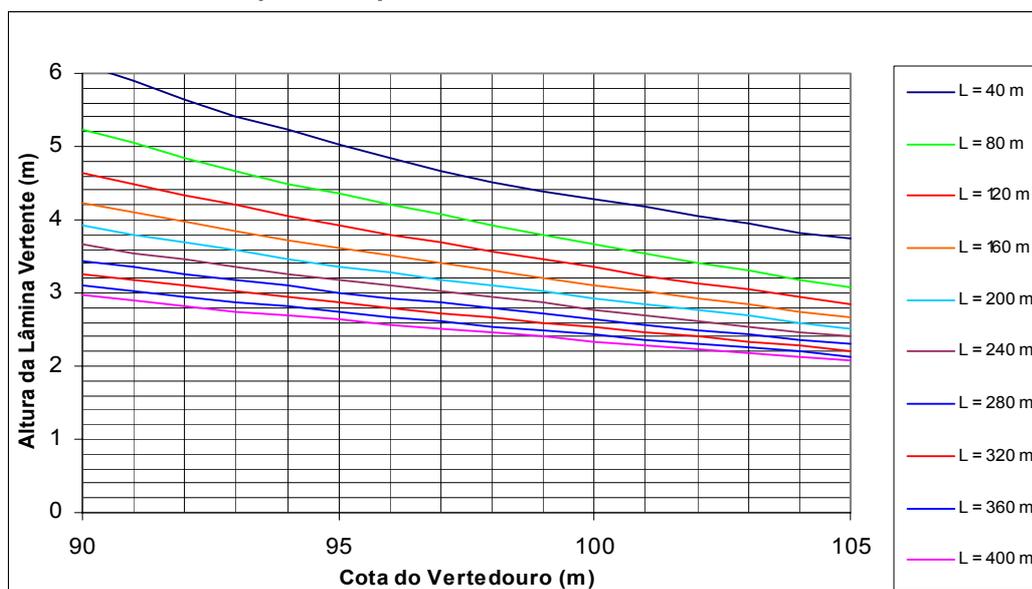
**Figura 3.16 – Altura da Lâmina Vertente Função da Largura e da Cota da Soleira do Vertedouro para Tempo de Recorrência de 100 anos**



**Figura 3.17 – Altura da Lâmina Vertente Função da Largura e da Cota da Soleira do Vertedouro para Tempo de Recorrência de 1000 anos**



**Figura 3.18 – Altura da Lâmina Vertente Função da Largura e da Cota da Soleira do Vertedouro para Tempo de Recorrência de 10000 anos**



As condições geotécnicas do local escolhido para o vertedouro, ombreira direita da barragem, indicam que as escavações associadas a execução do vertedouro e dos canais de aproximação e restituição forneceriam fragmentos de rocha que poderiam ser aproveitados na execução do maciço da barragem. Assim sendo definiu-se a largura do vertedouro em 250 m, de forma a se obter uma lâmina vertente inferior a 2,5 m, não elevando excessivamente a cota de coroamento da barragem, e um volume de escavação em rocha que pudesse ser integralmente utilizado na execução da barragem.

O Quadro 3.3 a seguir apresenta a simulação da operação do vertedouro para os eventos extremos relativos aos tempos de recorrência de 100, 1000 e 10000 anos.

**Quadro 3.3 – Resultados da Simulação da Operação do Vertedouro**

Tempo de recorrência (anos)	Largura do Vertedouro (m)	Cota de Vertimento (m)	Pico da Vazão Afluente (m³)	Pico da Vazão Efluente (m³)	Amortecimento (%)	Volume Máximo de Acumulação (1000m³)	Cota Máxima da Lâmina Vertente (m)	Altura Máxima da Lâmina Vertente (m)
100	240	99	3465	1158	66,6%	600126	100,69	1,69
1000	240	99	5168	1815	64,9%	633320	101,28	2,28
10000	240	99	7013	2540	63,8%	666378	101,86	2,86
<b>100</b>	<b>250</b>	<b>99</b>	<b>3465</b>	<b>1184</b>	<b>65,8%</b>	<b>598980</b>	<b>100,67</b>	<b>1,67</b>
<b>1000</b>	<b>250</b>	<b>99</b>	<b>5168</b>	<b>1855</b>	<b>64,1%</b>	<b>631745,5</b>	<b>101,26</b>	<b>2,26</b>
<b>10000</b>	<b>250</b>	<b>99</b>	<b>7013</b>	<b>2592</b>	<b>63,0%</b>	<b>664252</b>	<b>101,82</b>	<b>2,82</b>
100	260	99	3465	1209	65,1%	597834	100,65	1,65
1000	260	99	5168	1895	63,3%	630171	101,23	2,23
10000	260	99	7013	2644	62,3%	662126	101,78	2,78

## **4 – ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS**

### **4.1 - INTRODUÇÃO**

O presente capítulo integra os estudos geológicos e geotécnicos correspondentes à fase de detalhamento do Projeto Básico.

A presente memória integra e trata todos os trabalhos de prospeção geotécnica e ensaios diretamente relacionados com o eixo barrável e das estruturas anexas e com as jazidas efetuados ao longo das diferentes fases de projeto.

Em síntese, apresenta-se a caracterização geológica da região e nomeadamente da bacia hidráulica e do eixo barrável, a geomorfologia e a sismologia da região e o conjunto de trabalhos de prospeção geotécnica realizados. De modo complementar, tece-se um conjunto de reflexões de natureza geotécnica relativas à definição das condições de fundação (do eixo barrável e dos órgãos anexas), ao tratamento da fundação e aos materiais de construção.

Nos desenhos 3 a 10 apresenta-se a localização e a identificação e caracterização geológico-geotécnica efetuada com base nos trabalhos de reconhecimento, prospeção e ensaios laboratoriais realizados.

No Tomo 3 incluem-se todos os anexos referentes aos trabalhos de prospeção geotécnica e ensaios laboratoriais, assim como a documentação fotográfica associada aos estudos.

### **4.2 – GEOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA**

#### **4.2.1 - Litoestratigrafia**

O esboço geológico regional compreende basicamente um complexo de rochas Pré-Cambrianas não diferenciadas PX, que incluem rochas do tipo PI(B), com tipo litológico predominante de migmatitos e gnaisses diversos, com ocorrência maior na parte central da bacia. A área exibe nos relevos elevados, corpos de granitóides de composição granítica a granodiorítica, dioritos e granitos diversificados, de textura grosseira e porfiróides, que datam do Proterozóico Superior (PSy), com ocorrência na parte lesta da bacia hidrográfica.

Nos quadrantes leste e sudeste da bacia, ocorrem litologias do tipo (PP $\sigma$ p) Sienitos Potiretama do Paleozóico e arenitos (KISaa) do Cretáceo.

Regista-se também a presença específica de diques básicos do terciário (Tdb) formados por diabásicos e gabros, com direcionamento E-W, ocorrendo próximo dos limites extremos norte e sul da bacia e também no local do eixo barrável.

Os sedimentos aluviais do holoceno (QHa), areias quartzosas e areias argilosas, ocorrem em grandes faixas ao longo dos eixos de drenagem dos rios e riachos locais, por vezes formando bancos de areia.

Este complexo litológico está limitado ao norte, nas proximidades do boqueirão do Açude Castanhão, pelos sedimentos costeiros e inconsolidados do Terciário, pertencentes à Formação Faceira do Grupo Barreiras (TQc e TQbf) e aluviões Quaternários (QHa), e a leste pelas Coberturas Sedimentares da Formação Açú (KISaa).

Um resumo das principais características de cada um dos grupos litológicos é apresentado a seguir:

#### ***Unidade sem Denominação – PX, que incluem rochas do tipo PI (B)***

É constituída por uma associação complexa de migmatitos e gnaisses diversos, encerrando jazimentos subordinados de corpos metacalcários, anfibolitos, rochas calciosilicáticas e quartzitos.

Os gnaisses apresentam-se laminados, algo migmatizados, gradando para anfibolitos. Os biotita-quartzo-feldspato gnaisses exibem tonalidades cinza-claro a cinza médio e cinza-escuro. A estrutura normalmente mostra uma intercalação de bandas escuras, enriquecidas em máficos, com bandas claras, quartzo-feldspáticas. A granulação é principalmente equigranular média podendo variar para fina. Os gnaisses próximos às zonas de falha exibem porfiroblastos estirados de feldspatos, caracterizando os gnaisses facoidais.

Os quartzitos ocorrem dispersos por grande parte da área da bacia hidrográfica, sob a forma de lentes, encaixadas concordantemente ao lineamento das rochas gnáissicas e migmatíticas. Exibem tonalidades esbranquiçadas, granulação que varia de média a grossa, laminadas, quando micáceas.

#### ***Granitóides Pereiro – PSy***

Compreendem as intrusões de composição granítica a granodiorítica, com fácies sienítica de granulação média a grosseira, por vezes porfiroblástica, apresentando estruturas tipo equigranulares, xenolíticas com encraves de anfibólitos, gnaisses e dioritos.

### ***Grupo Apodi – Formação Açú – KISaa***

Estas coberturas sedimentares incluem rochas de características de ambiente marinho e estão constituídas por arenitos cinzentos e avermelhados, de granulometria fina a média e conglomerática, interestratificada, siltitos cinzentos a cinza-escuros, com lentes de calcário no topo.

### ***Diques Básicos – Tdb***

Esta unidade abriga litologias básicas, preenchendo fraturas, distribuídas ao longo da área estudada, alinhadas segundo a direção ENE - WSW, discordantes em relação às estruturas regionais. Trata-se de uma rocha compacta, de cor cinza esverdeada a preta, fraturada, ocorrendo muitas vezes em forma de blocos espalhados sobre o solo. A granulação varia de fina a média e sua textura é diabásica típica.

### ***Grupo Barreiras - Formação Faceira – TQbf***

Litologicamente, se caracteriza por sedimentos afossilíferos com níveis conglomeráticos basais, avermelhados, grosseiros, contendo seixos bem rolados de quartzo, principalmente, e rochas cristalinas diversificadas.

### ***Coberturas Sedimentares – TQc***

As coberturas sedimentares de espraiamento aluvial incluem os capeamentos de planalto de coluviões holocênicas. São sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, de tom creme, de granulometria fina a média, ocasionalmente mais grosseira, inconsolidados onde localmente apresentam cascalhos laterizados na base, a matriz é areno-argilosa caulínica e o cimento é argilo-ferruginoso. Apresentam-se sob a forma de pequenas mesetas com bordas dissecadas e contorno irregular, com topografia suave, representando uma pequena elevação em relação ao substrato rochoso. De uma maneira geral, predomina uma seqüência clástica grosseira, do topo para a base, iniciando com um capeamento de solos arenosos, inconsolidados, esbranquiçados à creme, mal selecionados.

### ***Aluviões – QHa***

Litologicamente, as aluviões estão representadas pelas argilas, siltes, areias argilosas, areias puras e cascalho. As argilas e siltes são abundantes e se encontram com freqüência em todas as calhas de rios e riachos. Os cascalhos e areias constituem grandes reservas, formadas

principalmente de areias grossas, mal selecionadas, puras, com seixos de quartzo e rochas cristalinas diversas.

A bacia de contribuição a partir da seção do barramento proposto, encontra-se completamente em terreno do Embasamento Cristalino, compreendidas pelas rochas Pré-Cambrianas e Proterozóicas descritas anteriormente.

#### **4.2.2 - Caracterização Estrutural**

A bacia hidrográfica do açude Figueiredo, está localizada em zona de domínio estrutural de falhamento transcorrente do Jaguaribe, em contato com rochas do Pré-Cambriano não diferenciado, caracterizada por cisalhamentos e dobramentos, com presença de estruturas sinformes e antifformes sem caimentos definidos, cortando toda a área da bacia.

A ocorrência de falhamentos com menor representatividade, no lado oeste da bacia, próximo ao rio Figueiredo, justifica o controle da drenagem dendrítica retangular, com intensos traços de fraturas, expressos na grã topográfica, através de deflexões abruptas dos eixos de drenagem dos rios e riachos.

O lineamento estrutural apresenta forte tendência de orientação SSW-NNE, com esforços tectônico tafrogênico, associado a vulcanismo básico do terciário, comprovado com a presença de diques de diabásios, com direção leste-oeste e ocorrendo com bastante intensidade nos extremos norte e sul da área da bacia hidráulica.

A estrutura destas formações está bem definida nos afloramentos da região, exibindo para além da foliação das rochas algumas famílias de diaclases conjugadas. O reconhecimento geológico de superfície feito mostra certa constância na atitude da foliação, o que permite concluir provisoriamente que não terá ocorrido forte tectonismo durante a história geológica do maciço cristalino.

Ao longo do eixo barrável, o maciço é praticamente aflorante em toda a extensão, mostrando pequena cobertura, em geral de apenas algumas dezenas de centímetros de solo residual de alteração da rocha. Pontualmente, foram identificadas maiores espessuras de alteração recobrando o maciço rochoso (por exemplo, local das sondagens SRC-07 e SRC-09). Os afloramentos alinham-se grosseiramente segundo a direção NE-SW.

São visíveis, em especial na ombreira esquerda, numerosos diques de quartzo e quartzito.

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 eixo da barragem intercepta, de forma mais ou menos perpendicular, esses alinhamentos geomorfológicos, não havendo a registrar qualquer aspecto singular em relação com qualquer dos locais.

#### **4.2.3 - Metamorfismo**

A grande variedade de rochas que constituem a Unidade sem Denominação (PX) é resultante do metamorfismo regional e está caracterizada por assembléias minerais diversas, que possibilitaram sugerir as condições genéticas da seqüência. As assembléias minerais ocorrem dentro de uma faixa ampla de temperatura e pressão, dentro do metamorfismo regional, e não são suficientemente seguros para determinar condições específicas de metamorfismo. Caracterizam-se pela presença constante de migmatização, que em certos casos leva a mesma a uma homogeneização total, originando núcleos granitóides.

### **4.3 – GEOLOGIA DO EIXO BARRÁVEL**

Na etapa de desenvolvimento dos Estudos Básicos da Barragem Figueiredo, foram realizados estudos geológicos que compreenderam inicialmente consultas a mapas geológicos e bibliografias disponíveis sobre a região. Posteriormente, foram conduzidos estudos fotogeológicos e efetuadas visitas de inspeção ao local dos serviços onde foi procedida uma campanha de investigações geológicas de campo.

A geologia do sítio da Barragem Figueiredo, principalmente em seu eixo, apresenta uma situação geológica característica da região, pois a área situa-se sobre rochas metamórficas do tipo gnaiss e migmatitos, e de corpos intrusivos ácidos e básicos, de idade Pré-Cambriana, pertencentes a Unidade sem Denominação, incluindo rochas tipo PI(B).

No sítio do barramento, na área que corresponde às ombreiras ou zonas mais elevadas, verificou-se um capeamento de solo residual de pouca espessura, constituído de areia siltosa, de coloração creme, amarela e cinza variegada, com muitos seixos rolados e pedregulhos.

Logo abaixo desta camada de solo residual encontra-se rocha gnaissica pouco a medianamente alterada em superfície, apresentando coloração cinza claro e escuro, com granulação variando de fina à média. Apresentam estruturas tipo bandamento gnaissico, boldinagem, alguens e bolas de neve. Apresentam orientação preferencial segundo a foliação regional, NE-SW com mergulhos para SE.

Associados ao gnaïsse, ocorrem afloramentos de migmatitos, de coloração cinza claro e esbranquiçada, pouco a medianamente fraturadas, fraturas estas bem definidas, orientadas na direção NW-SE com mergulho para SW, apresentando texturas Shollen e Nebulítica e granulação fina.

Estas ocorrências rochosas apresentam características resistentes aos processos de decomposição e recobrem praticamente toda a margem esquerda, com grandes afloramentos e tabuleiros rochosos, desde a localização do furo de sondagem SRC-15 até o furo SRC-05. No restante da barragem, as ocorrências diminuem, restringindo-se a pequenos afloramentos de pequenas dimensões, dispostos espaçadamente uns dos outros.

As intrusões ácidas, quartzíticas, graníticas e pegmatíticas, ocorrem sob a forma de lentes, veios e por vezes como incrustações, concordantes com a foliação do gnaïsse, segundo NE-SW. As intrusões quartzíticas e pegmatíticas ocorrem geralmente em tonalidades esbranquiçadas, ligeiramente rosadas, laminadas. Já as intrusões graníticas apresentam textura equigranular fina e coloração cinza claro. Estas ocorrências estão dispostas por toda a área que abrange a margem esquerda da barragem, desde o furo SRC-15, passando pelo furo SRC-05 até próximo ao furo SRC-03.

A ocorrência de Dique Básico (Tdb) é tipicamente regional, apresentando-se discordante ao lineamento regional, sob a forma de blocos soltos amontoados, por vezes embricados, de coloração cinza escuro. Esta ocorrência foi evidenciada próximo ao furo de sondagem SRC-03.

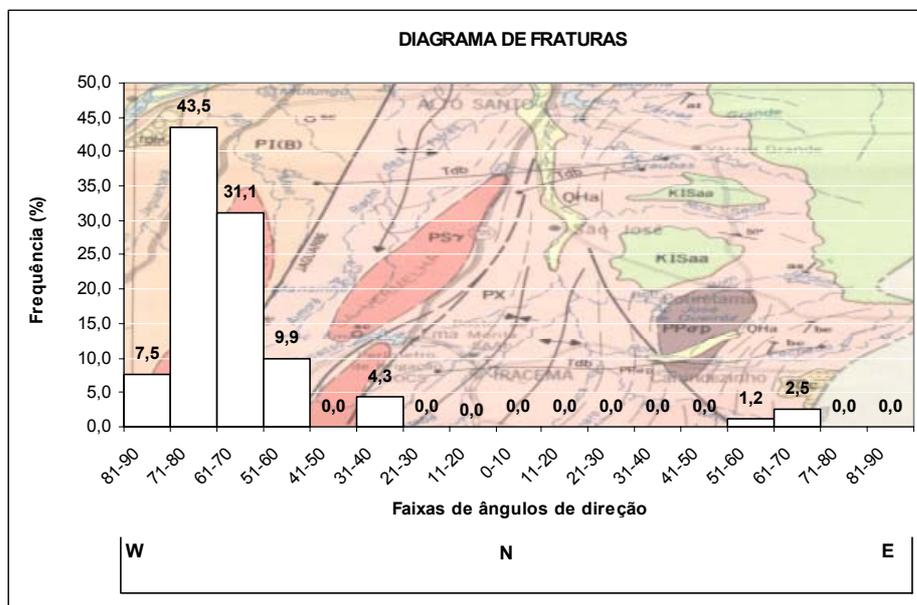
Na parte baixa do boqueirão, nas margens do rio, estão restritos os sedimentos aluviais representativos no local do sítio barrável, sob a forma de solos silto-arenosos do período Terciário. Pouco elevados, estendem-se por toda a extensão do rio Figueiredo, desenvolvendo planícies aluviais (várzeas) sujeitos a inundações, e em particular na calha principal do rio, estão os depósitos de aluviões recentes, do período Quaternário, em forma de grandes bancos de areias bem graduadas, de cor creme e com granulometria de média a grossa (aluvião), com pedregulho, e sua ocorrência se dá em quantidades consideráveis.

Por toda a extensão da ombreira direita, que vai do furo SRC-04 até o furo SRC-10, ocorrem solos residuais de cor creme, amarela e avermelhada, por vezes laterizada, apresentando pedregulhos e blocos soltos de quartzo. Os afloramentos são raros e geralmente encontram-se bastante alterados e intemperizados.

A determinação da direção preferencial de fraturamento das rochas de fundação foi obtida através de medidas efetuadas por bússola aferida, tomando-se um número significativo de 161 leituras de direção e mergulho.

A Fig. 4.1 apresenta o percentual de ocorrência das medidas de orientação dos fraturamentos, em faixas divididas a cada dez graus, partindo-se do Norte em sentidos opostos, para a esquerda o Oeste e para direita o Leste. Verificou-se, portanto, que 43,5% das medidas realizadas se posicionaram na faixa compreendida entre 71° e 80° na direção Noroeste (NW) com mergulhos no sentido SW, com alguma ocorrência de mergulho vertical.

**Fig. 4.1 – Gráfico com Diagrama de Fraturas**



#### 4.4 – GEOMORFOLOGIA

Quatro categorias morfológicas caracterizam o relevo, em escala regional da área da bacia hidráulica da barragem Figueiredo: o pediplano, as chapadas, os tabuleiros litorâneos e as planícies aluviais. O pediplano, feição dominante, constitui uma vasta planura, levemente ondulada, que cai de modo suave de sul para norte e dele surgem elevações esparsas, as serras e chapadas. As chapadas são elevações tabulares de grande extensão, formadas por terrenos sedimentares dispostos em camadas horizontais ou ligeiramente inclinadas. Dominam aí formações areníticas muito porosas, nas quais a água da chuva se infiltra, dando origem a fontes naturais no sopé das chapadas. A chapada localiza-se na divisa com o estado vizinho, o Rio Grande do Norte: a do Apodi, a nordeste.

Os tabuleiros litorâneos são também formações areníticas do período terciário, pouco elevadas, e abrangem toda a extensão dos rios Jaguaribe e Figueiredo, desenvolvendo-se em planícies aluviais (várzeas) sujeitas a inundações, que lhes renovam periodicamente os solos.

Os solos dos extensos plainos do sertão (pediplanos) são em geral rasos, mas apresentam boa composição química. As dificuldades que oferecem à utilização agrícola resultam apenas de sua deficiência em umidade. Os solos das chapadas são em geral pobres.

#### **4.5 – SISMOLOGIA**

A análise do panorama sismotectônico da Região Nordeste revela uma maior concentração de sismos nos estados do Rio Grande do Norte, Ceará, Bahia e Pernambuco, onde os abalos ocorrem em áreas de rochas do embasamento e nas áreas próximas ao litoral em que se iniciam as rochas sedimentares das bacias costeiras. Nos estados da Paraíba, Piauí e Alagoas as atividades sísmicas são praticamente ausentes. Como pode ser visualizado nos Quadros 4.1 e 4.2, os sismos nordestinos dificilmente atingem magnitude 5 na escala Richter.

No Ceará, especificamente, já foram identificadas quatro regiões sísmicas na zona nordeste do Estado: Cascavel (Pitombeiras), Chorozinho, Pacajus e Palhano. Dessas regiões, foi Pacajus a que apresentou eventos de maior magnitude, chegando a atingir em 1980, 5,2 graus na escala Richter e intensidade VII na escala Mercalli. O Quadro 4.3 mostra a relação dos sismos com magnitudes superiores a 3,0  $M_b$  ocorridos no Estado do Ceará.

Quanto à ocorrência de eventos sísmicos na área do estudo, observa-se que num raio de 100 km em torno do eixo estudado há registro de ocorrência de atividades sísmicas em 11 localidades, cujas distâncias aproximadas das áreas dos eixos podem ser visualizadas no Quadro 4.4. Dessas regiões, quatro são consideradas áreas com tradição em eventos sísmicos (Ererê, Pereiro, Morada Nova e Ibareta), merecendo destaque Pereiro e Ibareta por terem apresentado eventos de relativamente maior magnitude. Em Pereiro, o sismo ocorrido em 1968 atingiu 4,5 graus na escala Richter e intensidade VII na escala Mercalli, enquanto em Ibareta, o sismo ocorrido em 1977, atingiu 3,9 graus na escala Richter.

Tendo em conta que os eventos sísmicos registados são de magnitude baixa a moderada, que a barragem de Figueiredo se funda totalmente sobre rochas do embasamento cristalino e que a carga hidráulica associada ao reservatório é baixa - com valores máximos de 30 m e médios de cerca de 10 m – não são de prever que se levantem questões associadas a sismicidade induzida que, tradicionalmente, em regiões com sismicidade moderada, se associam apenas a cargas hidráulicas mínimas da ordem de 100 m.

**Quadro 4.1 - Distribuição Geográfica dos Sismos do Nordeste de Magnitude Mb > 3.0**

Estado	Até 31/12/1980		Até 31/10/1986	
	Nº	%	Nº	%
Alagoas	2	2,5	2	1,8
Bahia	19	24,1	20	18,4
Ceará	23	29,1	25	22,9
Maranhão	4	5,1	5	4,6
Paraíba	-	-	-	-
Pernambuco	9	11,4	14	12,8
Piauí	-	-	-	-
Rio G. do Norte	22	27,8	43	39,5
Sergipe	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>79</b>	<b>100</b>	<b>109</b>	<b>100</b>

FONTE: Berrocal, J. et alli, Sismicidade do Brasil JAG/USP. São Paulo, 1984.  
 Ferreira, J.M., Sismicidade do Nordeste do Brasil. Tese de mestrado. JAG/USP. São Paulo, 1983.  
 RBGf, ESB/UNB e CAI/UFRN, Boletins Sísmicos.

**Quadro 4.2 - Distribuição dos Sismos no Nordeste, Segundo a Magnitude (Mb ≥ 3,0)**

MAGNITUDE DOS SISMOS (mb)	ANOS									
	1801/ 1820	1821/ 1840	1841/ 1860	1861/ 1880	1881/ 1900	1901/ 1920	1921/ 1940	1941/ 1960	1961/ 1980	1981/ 1986(*)
3,0	-	-	-	-	-	1	2	3	8	5
3,1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	5
3,2	-	-	-	1	-	-	-	-	3	2
3,3	-	-	-	-	-	1	-	-	-	2
3,4	-	-	-	1	-	1	-	-	3	4
3,5	-	-	1	-	1	2	-	-	6	2
3,6	-	-	-	-	-	1	1	-	4	2
3,7	-	-	-	1	-	3	-	-	5	1
3,8	1	-	-	-	-	1	-	-	2	5
3,9	-	-	-	-	-	2	-	1	7	-
4,0	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-
4,1	-	-	-	-	-	3	-	-	1	-
4,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,3	-	-	-	-	-	1	-	-	1	2
4,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
4,7	1	-	-	-	-	1	-	-	1	-
4,8	1	-	-	-	-	1	-	-	-	-
4,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5,2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-

FONTE: Berrocal, J. et alli, Sismicidade do Brasil JAG/USP. São Paulo, 1984.  
 Ferreira, J.M., Sismicidade do Nordeste do Brasil. Tese de mestrado. JAG/USP. São Paulo, 1983.  
 RBGf, ESB/UNB e CAI/UFRN, Boletins Sísmicos.

(\*) Excluindo o ano de 1983.

Do mesmo modo, a ação sísmica que poderá atuar na barragem e afetar o seu comportamento é baixa a moderada. Considerou-se no entanto importante definir os níveis de aceleração que essa atividade poderia gerar e analisar a sua influência na estabilidade da obra.

**Quadro 4.3 - Relação dos Sismos com Magnitude Mb ≥ 3,0 ocorridos no Estado do Ceará**

Localidade	Data	Magnitude (Mb)	Intensidade (MMI) (1)	Observações
BATURITÉ	02/1903	3,9	-	3 sismos
BATURITÉ	02/1903	4,1	VI	2 sismos
MARANGUAPE	24/11/1919	4,5	IV	-
ARACATI	14/04/1928	4,0	VI	-
PEREIRO	1968	3,9 – 4,5	V - VII	5 sismos (janeiro a março)
BEBERIBE	03/1974	-	V	vários sismos
SÃO LUIZ DO CURU	1974/1976	3,4	VI	Sismos alternados
IBARETAMA	07/1976	-	V	-
IBARETAMA	12/03/1977	3,9	-	-
PACAJUS	20/11/1980	5,2	VII	-
CASCAVEL (PITOMBEIRAS)	22/04/1995	3,8	VI	-

FONTE: Ferreira, J.M., Sismicidade no Rio Grande do Norte in Simpósio sobre Sismicidade Atual em João Câmara (RN). Rio de Janeiro, 10 a 11 de novembro de 1986.p.32-48.

Berrocal, J. et alli, Sismicidade do Brasil. São Paulo, JAG/USP,1984  
Defesa Civil do Ceará.

Nota: (1) Intensidade Modificada de Mercalli.

Através das relações obtidas na Tabela Modificada e na Tabela de Possi-Forel, preconizam-se os seguintes parâmetros para incorporação às futuras análises de estabilidade pseudo-estática sob solicitação sísmica da barragem:

- Aceleração horizontal (AH) ..... 0,1 g

## 4.6 - TRABALHOS DE PROSPEÇÃO GEOTÉCNICA

### 4.6.1 – Introdução

Neste capítulo faz-se a apresentação do conjunto de trabalhos de prospeção geotécnica já realizados, tanto no que se refere ao eixo barrável quanto aos locais das jazidas, sendo igualmente mencionados os trabalhos de campo atualmente em curso.

A presente fase dos estudos incluiu a programação de um complemento de investigação geotécnicas para o eixo, órgãos anexos e jazidas. Os boletins provisórios e/ou definitivos dos trabalhos de campo e dos ensaios laboratoriais já concluídos são apresentados no Tomo 3.

Os boletins correspondentes à prospeção geotécnica da Fase III dos estudos foram também apresentados no tomo III da mesma fase, sendo que nesta edição final do projeto se inclui a totalidade da prospeção efetuada.

**Quadro 4.4 – Distribuição dos Sismos na Área do Estudo (Raio de 100 km)**

Ocorrências Sísmicas	Distância Aproximada (km)					
	Eixo I	Extrema	Eixo II	Cajazeiras	Jurema	Eixo III
Ererê (1)	55,50	24,00	51,50	49,00	46,50	43,50
Pereiro (1)	55,30	53,80	51,30	48,80	46,30	43,30
Morada Nova (sede) (1)	45,70	47,20	49,70	52,20	54,70	57,70
Morada Nova (Serra do Félix)	80,00	81,50	84,00	86,50	89,00	92,00
Morada Nova/S.J. Jaguaribe (divisa)	35,00	36,50	39,00	41,50	44,00	47,00
Morada Nova/Aracoiaba (divisa)	65,50	67,00	69,50	72,00	74,50	77,50
Banabuiú (Sitiá)	92,50	94,00	96,50	99,00	101,50	104,50
Ibaretama (Serra Azul) (1)	75,60	77,10	79,60	82,10	84,60	87,60
Russas (CE-138)	85,50	87,00	89,50	92,00	94,50	97,50
Russas (Serra do Félix)	100,00	101,50	102,70	105,00	106,30	107,50
Quixeramobim (Belém)	100,00	101,50	104,00	106,50	109,00	112,00

Nota: (1) Áreas com tradição em eventos sísmicos.

## **4.6.2 – Trabalhos já Realizados**

### **4.6.2.1 – Sondagens mistas e à rotação**

Realizaram-se no total 41 sondagens - mistas e à rotação – para a caracterização do eixo barrável, sendo 10 na ombreira esquerda, 11 na calha do rio e 20 na ombreira direita (vertedouro e tomada de água incluídos).

O programa de sondagens à rotação teve como principal objectivo a investigação das principais características do maciço rochoso em profundidade, quer no que se refere à natureza das formações em matéria de grau de alteração e espaçamento de fracturas, quer das características hidráulicas do maciço.

A orientação e a inclinação das sondagens foi definida de forma a que os furos atravessassem as diaclases mais freqüentes no maciço (a maioria das sondagens foram inclinadas 20° com a vertical, para montante).

Apresenta-se no Quadro 4.5 a síntese das sondagens realizadas, podendo a sua localização em planta ser conferida no desenho nº 3.

A observação dos testemunhos e a análise de recuperação obtida confirmam em geral a excelência das características geomecânicas do maciço cristalino demonstradas pela elevada percentagem de recuperação e elevado RQD. Apenas pontualmente ocorrem intercaladas algumas zonas mais alteradas e fraturadas, resultantes do tectonismo da formação e de ocorrência de diques, em especial de quartzo.

Merecem um particular destaque duas ocorrências, ambas na calha do rio, a primeira em relação com a sondagem SM17 (ver perfil geotécnico de montante no desenho nº 5), onde o topo do maciço subjacente aos aluviões se apresenta totalmente alterado, com percentagem de recuperação nula até aos 9,65 m de profundidade, sendo que o segundo caso se verificou na sondagem SM-104 (ver perfil geotécnico de jusante, igualmente no desenho nº 5), em que, para além de uma anormal espessura de alteração – até aos 14,80 m com recuperação nula – foi encontrada uma passagem arenosa entre os 15,60 e os 16,20 m de profundidade.

As sondagens na calha do rio evidenciam um enchimento aluvionar arenoso com seixos de cerca de 6 a 10 m de espessura.

**Quadro 4.5 – Sondagens Mistas e à Rotação: Síntese das Principais Características**

Fase dos estudos	Sondagem	Modo de execução	Localização	Comprimento (m)	Inclinação	Nível de água (m)
Fase III	SRC-01	mista	calha do rio	35,10	vertical	1,47
	SRC-02	mista	calha do rio	35,33	vertical	1,15
	SRC-03	rotação	calha do rio	27,80	20° / montante	seco
	SRC-04	rotação	ombreira direita	20,18	20° / montante	seco
	SRC-05	rotação	ombreira esquerda	20,00	20° / montante	seco
	SRC-06	rotação	ombreira direita	20,00	20° / montante	seco
	SRC-07	rotação	ombreira esquerda	20,26	20° / montante	seco
	SRC-08	rotação	ombreira direita	20,04	20° / montante	seco
	SRC-09	rotação	ombreira esquerda	19,32	20° / montante	seco
	SRC-10	rotação	ombreira direita	20,50	20° / montante	seco
	SRC-11	rotação	ombreira esquerda	20,10	20° / montante	seco
	SRC-12	rotação	ombreira direita	24,65	20° / montante	seco
	SRC-13	rotação	ombreira esquerda	20,21	20° / montante	seco
	SRC-15	rotação	ombreira esquerda	30,00	20° / montante	seco
Fase V	SRC-V1	rotação	vertedouro	15,00	vertical	seco
	SRC-V2	rotação	vertedouro	20,20	vertical	seco
	SRC-V3	rotação	vertedouro	15,07	vertical	2,70
	SRC-V4	rotação	vertedouro	16,19	vertical	seco
	SRC-V5	rotação	vertedouro	10,00	vertical	seco
	SRC-V6	rotação	vertedouro	10,00	vertical	seco
	SRC-14	rotação	ombreira direita	20,00	20° / montante	seco
	SRC-16	rotação	ombreira direita	20,00	vertical	1,70
	SM-17	mista	calha do rio	25,00	vertical	4,18
	SM-18	mista	calha do rio	22,15	vertical	4,72
	SM-19	mista	calha do rio	25,00	vertical	0,96
	SM-20	mista	calha do rio	25,00	vertical	0,90
	SM-21	mista	calha do rio	21,04	vertical	3,00
	SRC-23	rotação	ombreira esquerda	20,00	20° / montante	seco
	SRC-101	rotação	ombreira direita	15,42	20° / montante	-
	SRC-102	rotação	ombreira direita	20,50	vertical	3,00
	SM-103	mista	calha do rio	25,10	vertical	1,33
	SM-104	mista	calha do rio	22,00	vertical	3,72
	SM-105	mista	calha do rio	20,03	vertical	4,10
	SRC-106	rotação	ombreira esquerda	19,00	20° / montante	seco
	SRC-107	rotação	ombreira esquerda	20,19	20° / montante	seco
SRC-108	rotação	ombreira esquerda	20,00	20° / montante	seco	
SRC-T1	rotação	tomada de água	10,00	vertical	seco	
SRC-T2	rotação	tomada de água	10,00	vertical	seco	
SRJ-109	rotação	jazida	15,00	vertical	seco	
SRJ-110	rotação	jazida	15,00	vertical	seco	
SRJ-111	rotação	jazida	15,22	vertical	seco	

Todos os perfis de sondagem são apresentados em anexo, sendo que cada perfil definitivo contem as informações seguintes:

- Coordenadas de implantação e inclinação
- Data de execução e (eventual) nível de água
- Profundidade da sondagem e de cada camada
- Descrição do material atravessado em cada camada
- % de recuperação efetiva e de RQD (Rock Quality Designation)
- Graus de alteração, de coerência e de fraturamento
- Síntese dos resultados dos ensaios de perda de água.

Relativamente aos graus de alteração, de coerência e de fraturamento, apresentam-se no Quadro 4.6 o significado de cada um dos graus em apreço.

Em simultâneo com a execução das sondagens mistas e à rotação foi realizado um conjunto de ensaios de perda d'água cuja síntese se apresenta no Quadro 4.7.

A análise dos resultados obtidos nos ensaios de perda de água mostra que, em geral, o maciço é praticamente impermeável. Com efeito, uma vez ultrapassada a camada de solo residual de alteração da rocha, os valores da perda d'água registaram em geral reduzidas absorções (< 1UL), mesmo para pequenas profundidades.

Algumas sondagens localizadas no vertedouro (SRC-12, SRCV-02 e SRCV-03) apresentam elevadas absorções, embora tais registos não impliquem cuidados particulares na medida em que os níveis em questão serão objeto de escavação para a implantação do vertedouro.

Constituem igualmente excepção as sondagens SRC-02, SM18 e SM103 da calha do rio, as sondagens SRC14 e SRC6 da ombreira direita e a sondagem SRC11 da ombreira esquerda, onde se verificaram absorções de água mais importantes, sobretudo nos trechos superficiais.

A sondagem SRC14 parece confirmar as dúvidas levantadas na fase III dos estudos em relação com a SRC6, porquanto foram registadas importantes permeabilidades até cerca dos 11,5 m de profundidade (perda de água total no patamar dos 5 kg/cm<sup>2</sup>, mas também  $\cong$  30 UL para os patamares dos 1 e 2 kg/cm<sup>2</sup>).

Relativamente às sondagens SRC-02 e SM18, os trechos superficiais de ensaio evidenciaram absorções relativamente importantes, respectivamente entre 7 e 15 UL na 1<sup>a</sup> sondagem e 21 UL na 2<sup>a</sup>.

**Quadro 4.6 - Graus de alteração, de coerência e de fraturamento: especificações**

GRAU DE ALTERAÇÃO			GRAU DE CONSISTÊNCIA			GRAU FRATURAMENTO		R.Q.D. (%)
GRAU	DENOMINAÇÃO	CARACTERIZAÇÃO	GRAU	DENOMINAÇÃO	CARACTERIZAÇÃO			
<b>A1</b>	Rocha sã	A rocha apresenta seus minerais constituintes sem decomposição. Eventualmente apresenta juntas oxidadas	<b>C1</b>	Rocha muito consistente	Rocha com som metálico, quebra com dificuldade ao golpe do martelo. Sua superfície dificilmente é riscada pelo aço.	<b>F1</b>	< 1 Fratura / m (Ocasionalmente Fraturada)	75 – 100 (Bom a Excelente)
<b>A2</b>	Rocha pouco decomposta	A rocha apresenta decomposição incipiente em sua matriz e ao longo dos planos de fraturas, é levemente descolorida.	<b>C2</b>	Rocha consistente	Rocha com som fraco, quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo. Ao ser riscada pelo aço, deixa sulcos superficiais.	<b>F2</b>	1.1 – 5 Fraturas / m (Pouco Fraturada)	50 – 75 (Regular)
<b>A3</b>	Rocha medianamente decomposta	A rocha apresenta seus minerais constituintes em franco processo de decomposição. Fraturas decompostas eventualmente preenchidas por material desagregado. É muito descolorida.	<b>C3</b>	Rocha medianamente consistente	Rocha com som oco, quebra com relativa facilidade, ao golpe do martelo com fragmentos dificilmente quebradiços à pressão dos dedos. Sulco leve ao risco do aço.	<b>F3</b>	5.1 – 10 Fraturas / m (Medianamente Fraturada)	25 – 50 (Pobre)
<b>A4</b>	Rocha muito decomposta	A rocha apresenta seus minerais constituintes muito decompostos. Decomposição ao longo das fraturas comumente preenchidas por material desagregado. É totalmente descolorida.	<b>C4</b>	Rocha pouco consistente	Rocha quebra com facilidade ao golpe do martelo, bordas dos fragmentos quebram com relativa facilidade manualmente. Sulcos profundos ao risco do aço.	<b>F4</b>	10.1 – 20 Fraturas / m (Muito Fraturada)	0 – 25 (Muito pobre)
<b>A5</b>	Rocha extremamente decomposta (Saprolito)	Materiais constituintes totalmente decompostos. Pode apresentar bolsões de material desagregado. Preserva estruturas originais.	<b>C5</b>	Rocha sem consistência (Friável)	Rocha esfarea-se ao golpe do martelo, desagregando-se com a pressão dos dedos. Pode ser cortada com o aço, sendo riscada com a unha.	<b>F5</b>	> 20 Fraturas / m (Extremamente Fraturada)	-

**Quadro 4.7 – Ensaio de perda de água: síntese de resultados**

sondagem	ensaio	prof. (m)	Pressão Manomét. (kg/cm <sup>2</sup> )	Perda Esp.(UA) (l/min.m) (kg/cm <sup>2</sup> )	UL (l/min.m) (10 kg/cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)	observações
SRC - 01	1	8.5-13.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,04	0,4	5,2x10 <sup>-6</sup>	---
	2	13.0-18.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	6,7x10 <sup>-7</sup>	PE=0,04 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	3	18.0-23.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	1,7x10 <sup>-6</sup>	---
	4	23.0-29.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	PE=0,01 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	5	29.0-35.6	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
SRC - 02	1	7.1-12.1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	1,48	14,8	1,9x10 <sup>-4</sup>	---
	2	12.1-17.1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,07	0,7	9,3x10 <sup>-6</sup>	---
	3	17.1-22.1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,68	6,8	8,5x10 <sup>-5</sup>	---
	4	22.1-27.1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,07	0,7	8,8x10 <sup>-6</sup>	---
	5	27.1-32.1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,04	0,4	5,3x10 <sup>-6</sup>	---
	6	32.0-35.3	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	5,9x10 <sup>-7</sup>	---
SRC - 03	1	9.0-14.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,06	0,6	7,1x10 <sup>-6</sup>	PE=0,25 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	14.0-19.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
	3	19.0-24.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
	4	24.0-27.8	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
SRC - 04	1	2.0-5.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>2</sub>			PE=0,51 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	5.0-10.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,05	0,5	6,4x10 <sup>-6</sup>	---
	3	10.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	PE=0,01 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	4	15.0-20.2	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	PE=0,02 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SRC - 05	1	1.0-6.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,11	1,1	1,3x10 <sup>-5</sup>	---
	2	6.0-11.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,06	0,6	7,0x10 <sup>-6</sup>	---
	3	11.0-16.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	1,4x10 <sup>-6</sup>	---
	4	16.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
SRC - 06	1	1.0-6.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=0 UA p/ p <sub>1</sub> e p <sub>2</sub>
	2	6.0-11.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=0 UA p/ p <sub>1</sub> e p <sub>2</sub>
	3	11.0-16.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=0 UA p/ p <sub>1</sub> e p <sub>2</sub>
	4	16.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=0 UA p/ p <sub>1</sub> e p <sub>2</sub>
SRC - 07	1	7.5-12.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,27	2,7	3,4x10 <sup>-5</sup>	---
	2	12.5-17.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,05	0,5	6,6x10 <sup>-6</sup>	PE=0,20 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	3	17.0-20.3	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,03	0,3	3,0x10 <sup>-6</sup>	PE=1,12 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SRC - 08	1	2.0-7.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
	2	7.0-12.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
	3	12.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	PE=0,04 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	4	15.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,03	0,3	3,7x10 <sup>-6</sup>	---
SRC - 09	1	4.5-9.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	PE=0,01 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	9.5-14.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
	3	14.5-19.3	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
SRC - 10	1	2.0-5.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,16	1,6	1,8x10 <sup>-5</sup>	---
	2	5.0-10.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,11	1,1	1,4x10 <sup>-5</sup>	---
	3	10.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,08	0,8	9,7x10 <sup>-6</sup>	---
	4	15.0-20.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,04	0,4	5,1x10 <sup>-6</sup>	---

**Quadro 4.7 – Ensaio de perda de água: síntese de resultados (cont.)**

sondagem	ensaio	prof. (m)	Pressão Manomét. (kg/cm <sup>2</sup> )	Perda Esp.(UA) (l/min.m) (kg/cm <sup>2</sup> )	UL (l/min.m) (10 kg/cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)	observações
SRC - 11	1	2.0-7.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,64	6,4	7,4x10 <sup>-5</sup>	---
	2	7.0-12.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=0,85 UA p/ p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	3	12.0-17.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=0 UA p/ p <sub>1</sub> e p <sub>2</sub>
	4	17.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=0 UA p/ p <sub>1</sub> e p <sub>2</sub>
SRC - 12	1	2.6-7.6	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,8	8,0	1,0x10 <sup>-5</sup>	---
	2	7.6-12.6	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,16	1,6	2,1x10 <sup>-5</sup>	---
	3	12.6-17.6	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
	4	17.6-22.6	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
	5	22.6-24.7	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
SRC - 13	1	4.0-9.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
	2	9.0-13.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=0 UA p/ p <sub>1</sub> e p <sub>2</sub>
	3	13.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	---	---
	4	15.0-20.2	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,04	0,4	5,6x10 <sup>-6</sup>	---
SRC - 15	1	1.0-6.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	obturação impossível			---
	2	6.0-11.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,04	0,4	5,6x10 <sup>-6</sup>	---
	3	11.0-16.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,03	0,3	4,3x10 <sup>-6</sup>	---
	4	16.0-21.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,03	0,3	3,8x10 <sup>-6</sup>	---
	5	21.0-26.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	1,4x10 <sup>-6</sup>	---
	6	26.0-30.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	7,1x10 <sup>-7</sup>	---
SRCV-01	1	3.0-7.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total em p <sub>3</sub>			PE=1,03 UA p/ p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	2	7.0-12.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,10	1,0	1,2x10 <sup>-5</sup>	---
	3	12.0-5.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	1,4x10 <sup>-6</sup>	---
SRCV-02	1	1.0-6.0	1 - 2 - 3 - 2 - 1	0,41	4,1	4,8x10 <sup>-5</sup>	PE=0,78 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	2	6.0-11.0	1 - 2 - 3 - 2 - 1	1,11	11,1	1,3x10 <sup>-4</sup>	---
	3	11.0-16.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,88	8,8	1,0x10 <sup>-4</sup>	PE=0,97 UA p/p <sub>4</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	4	16.0-20.2	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,10	1,0	1,1x10 <sup>-5</sup>	PE=0,11 UA p/p <sub>4</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
SRCV-03	1	1.3-6.3	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>2</sub>			PE=5,2 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	6.3-11.3	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>2</sub>			PE=6,3 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	3	11,3-15,1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>2</sub>			PE=7,5 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SRCV-04	1	2.1-7.1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=3,48 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	2	7.1-12.1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,11	1,1	1,33x10 <sup>-5</sup>	PE=0,22 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	3	12.1-16.1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,05	0,5	5,2x10 <sup>-6</sup>	---
SRC-14	1	1.5-6.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>3</sub>			PE=2,82 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	2	6.5-11.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total sem pressão em p <sub>2</sub>			PE=3,74 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	3	11.5-16.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,13	1,3	1,6x10 <sup>-5</sup>	---
	4	16.5-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,02	0,2	2,2x10 <sup>-6</sup>	---
SRC-16	1	2.8-7.8	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,14	1,4	1,6x10 <sup>-5</sup>	---
	2	7.8-12.9	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	-	PE=0,01 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	3	12.9-17.8	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	-	---
	4	17.8-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	6,9x10 <sup>-7</sup>	---
SM17	1	10.5-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,02	0,2	2,8x10 <sup>-6</sup>	PE=0,05 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	15.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	-	---
	3	20.0-25.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	-	PE=0,01 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>

**Quadro 4.7 – Ensaio de perda de água: síntese de resultados (cont.)**

sondagem	ensaio	prof. (m)	Pressão Manomét. (kg/cm <sup>2</sup> )	Perda Esp.(UA) (l/min.m) (kg/cm <sup>2</sup> )	UL (l/min.m) (10 kg/cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)	observações
SM-18	1	2.5-7.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	2,06	20,6	2,4x10 <sup>-4</sup>	PE=6,30 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	7.5-12.6	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,25	2,5	3,0x10 <sup>-5</sup>	---
	3	12.6-17.7	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	8,3x10 <sup>-7</sup>	PE=0,16 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	4	17.7-22.1	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,09	0,9	1,0x10 <sup>-5</sup>	PE=0,10 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SM-19	1	11.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,02	0,2	2,1x10 <sup>-6</sup>	---
	2	15.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	6,8x10 <sup>-7</sup>	PE=0,02 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	3	20.0-25.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	-	---
SM-20	1	8.5-13.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,04	0,4	4,4x10 <sup>-6</sup>	PE=0,19 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	13.5-18.5	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,12	1,2	1,4x10 <sup>-5</sup>	PE=0,33 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	3	18.5-25.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,04	0,4	4,8x10 <sup>-6</sup>	PE=0,17 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
SM-21	1	11.0-16.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,12	1,2	1,4x10 <sup>-5</sup>	PE=0,13 UA p/p <sub>5</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	16.0-21.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,02	0,2	2,2x10 <sup>-6</sup>	PE=0,03 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SRC-23	1	1.0-5.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,04	0,4	4,8x10 <sup>-6</sup>	-
	2	5.0-10.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,03	0,3	3,4x10 <sup>-6</sup>	-
	3	10.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	-	-
	4	15.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	-	-
SRC-101	1	2.0-7.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total em p <sub>2</sub>			PE=7,20 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	7.5-15.4	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total em p <sub>2</sub>			PE=1,91 UA p/p <sub>5</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SMC-102	1	5.0-10.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,01	0,1	1,5x10 <sup>-6</sup>	PE=0,02 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	2	10.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	-	PE=0,01 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
	3	15.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,02	0,2	2,6x10 <sup>-6</sup>	PE=0,03 UA p/p <sub>5</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SM-103	1	8.1-14.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	2,20	22,0	2,7x10 <sup>-4</sup>	PE=5,23 UA p/p <sub>4</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	2	14.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,10	1,0	1,8x10 <sup>-5</sup>	PE=0,18 UA p/p <sub>4</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	3	20.0-25.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,09	0,9	1,1x10 <sup>-5</sup>	PE=0,15 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SM-104	1	15.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total em p <sub>2</sub>			PE=5,85 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SM-105	1	12.3-17.3	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,14	1,4	1,6x10 <sup>-5</sup>	PE=0,25 UA p/p <sub>4</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	2	17.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,16	1,6	1,7x10 <sup>-5</sup>	PE=0,22 UA p/p <sub>4</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
SM-106	1	5.0-10.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,09	0,9	1,1x10 <sup>-5</sup>	PE=0,13 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	2	10.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,08	0,8	9,5x10 <sup>-6</sup>	PE=0,20 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	3	15.0-19.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,11	1,1	1,2x10 <sup>-5</sup>	PE=0,22 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
SM-107	1	0.0-5.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total em p <sub>1</sub>			---
	2	5.0-10.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	perda de água total em p <sub>1</sub>			---
	3	10.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,27	2,7	3,1x10 <sup>-5</sup>	PE=0,33 UA p/p <sub>4</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	4	15.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,16	1,6	1,9x10 <sup>-5</sup>	PE=0,45 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>
SM-108	1	5.0-10.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0	0	-	---
	2	10.0-15.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,08	0,8	9,4x10 <sup>-6</sup>	PE=0,10 UA p/p <sub>2</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
	3	15.0-20.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,03	0,3	3,8x10 <sup>-6</sup>	PE=0,06 UA p/p <sub>4</sub> =2 kg/cm <sup>2</sup>
SRCT-02	1	1.0-6.0	1 - 2 - 5 - 2 - 1	0,14	1,4	1,7x10 <sup>-5</sup>	PE=0,20 UA p/p <sub>1</sub> =1 kg/cm <sup>2</sup>

A sondagem SM103 apresenta um valor de permeabilidade muito elevado (22 UL) no primeiro trecho de ensaio situado entre os 8,1 e os 14,0 m de profundidade, provavelmente porque o limite superior do trecho coincide com a base da aluvião ou da camada de solo residual de alteração.

No caso da sondagem SRC-11, os valores de perda de água total sem pressão no patamar dos 5 kg/cm<sup>2</sup> poderão corresponder a fraturação hidráulica ou a problemas de execução no ensaio, dado que a observação dos tarolos da sondagem não parece indicar uma fraca qualidade do maciço rochoso.

#### 4.6.2.2 – Sondagens à pá e picareta e sondagens a trado

Com vista ao detalhamento da espessura de saneamento para a implantação dos aterros e ao reconhecimento da capa de alteração ao nível do vertedouro e da tomada de água e das potencialidades em materiais de construção, procedeu-se à execução de um conjunto de sondagens à pá e picareta (SPP) e sondagens a trado (ST) em relação com os respectivos terrenos. No Quadro 4.8 apresenta-se a distribuição dos principais trabalhos realizados.

**Quadro 4.8 – Sondagens à Pá e Picareta e a Trado: distribuição dos trabalhos**

Designação do local	Nº e tipo de furos	Distância à barragem (m)
Barragem	25 SPP	-
Vertedouro	140 SPP	-
Tomada de Água	7 SPP	-
Jazida nº 1	41 SPP	2800
Jazida nº 2	150 SPP	6000
Jazida nº 3	82 SPP	2200
Areal nº 1	4 SPP	rio Figueiredo (montante)
Areal nº 1	25 ST	rio Figueiredo (montante)

A realização das sondagens e dos trados permitiu estimar a espessura de expurgo, observar diretamente a natureza dos terrenos envolvidos, avaliar a espessura utilizável, assim como proceder à recolha de um conjunto de amostras (só no caso das jazidas) para posterior caracterização laboratorial em termos de identificação e caracterização geotécnica dos materiais ocorrentes.

A realização das 25 sondagens à pá e picareta no local de implantação dos aterros da barragem (SPP01, SPP02, SPP7A e SPP101 a SPP122) permite tecer as considerações seguintes:

- a capa terrosa de alteração oscila geralmente entre os 0,5 e 1,5 m, sendo pontualmente interceptados valores superiores;
- constitui excepção a zona da calha do rio, onde a presença do nível de água não possibilitou alcançar profundidades acima dos 2,5 a 2,7 m;

- constitui igualmente exceção o local de execução da SPP7A (ao lado da sondagem rotativa SRC7), onde se atingiu uma profundidade de cerca de 5,5 m, provavelmente correspondente ao preenchimento por solo de alteração da depressão originada entre os dois afloramentos rochosos ocorrentes.

Relativamente às 140 SPP realizadas ao longo dos terrenos em que está prevista a construção do vertedouro, tem-se que no essencial se obtiveram reduzidas espessuras de cobertura de solo nas cotas mais altas, em regra inferiores a 2 m, sendo que na zona do canal de restituição se registaram valores mais significativos da ordem dos 2,5 m a 5 m.

As 7 SPP realizadas no alinhamento da tomada de água registaram espessuras de alteração entre 1 e 3 m em relação com os depósitos de cobertura do maciço, sendo que relativamente às SPP 6 e 7, situadas junto à linha de água, se encontraram espessuras de solo de aluviões de 4,5 a 5 m.

O reconhecimento direto das potenciais jazidas visou aferir das qualidades e quantidades dos dois tipos de materiais seguintes:

- Solos finos resultantes da meteorização dos gnaisses (solos residuais)
- Aluviões arenosas que poderão ser utilizadas com vários fins, designadamente filtros, camadas de transição, inertes, etc..

A execução das 8 SPP complementares ao nível da jazida 3 (SPP201 a SPP208) permitiu confirmar as reduzidas espessuras de materiais finos ocorrentes identificadas na fase III – da ordem de 0,45 a 0,85 m – não se perspectivando uma exploração desta jazida acima de 1 m.

A localização em planta de todas as sondagens à pá e picareta e trados realizados é apresentada nos desenhos n<sup>os</sup> 3, 6 e 9.

#### **4.6.2.3 – Caracterização laboratorial**

##### **Amostras de solo**

Sobre amostras de solo recolhidas nas sondagens à pá e picareta executadas nas jazidas realizaram-se ensaios de identificação, designadamente análises granulométricas por peneiração e sedimentação e limites de Atterberg.

A síntese dos principais resultados obtidos nos ensaios de identificação sobre materiais terrosos é apresentada no Quadro 4.9, designadamente no que se refere às granulometrias (%)

das frações passadas) e limites de Atterberg (em %) incluindo-se para cada caso a respectiva Classificação U.S.C..

**Quadro 4.9 - Caracterização laboratorial: Síntese dos ensaios de identificação**

JAZIDA	PROF. (m)	FURO	SED 0.005	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	LL	IP	U.S.C.
J1	1.20	SPP 15	-	96	89	63	39	33	10	SC
J1	0.80	SPP 20	-	88	83	66	35	25	9	SC
J1	1.10	SPP 30	-	85	69	39	25	29	8	SC
J1	1.50	SPP 32	-	98	92	75	44	29	10	SC
J1	1.40	SPP 34	13	94	89	68	37	28	10	SC
J2	2.50	SPP 02	-	99	93	76	59	34	11	CL
J2	2.90	SPP 04	-	100	93	70	41	23	8	SC
J2	2.95	SPP 09	-	99	90	70	45	30	9	SC
J2	2.50	SPP 14	13	83	73	59	42	34	11	SC
J2	2.35	SPP 16	-	99	89	63	36	26	9	SC
J2	2.50	SPP 20	-	97	82	57	21	24	8	SC
J2	2.55	SPP 22	-	94	76	60	40	31	10	SC
J2	2.05	SPP 24	-	96	84	67	45	30	11	SC
J2	2.50	SPP 26	-	97	87	71	51	28	10	CL
J2	2.50	SPP 32	-	98	87	66	42	29	14	SC
J2	2.30	SPP 35	-	93	82	59	37	29	11	SC
J2	2.55	SPP 45	-	88	77	60	40	32	10	SC
J2	2.50	SPP 49	-	98	90	68	38	24	9	SC
J2	2.50	SPP 50	-	95	86	54	22	31	6	SM
J2	2.70	SPP 56	-	94	80	63	41	30	9	SC
J2	2.40	SPP 57	15	95	82	60	41	25	9	SC
J2	2.70	SPP 58	-	97	91	71	51	30	10	CL
J2	2.00	SPP 64	-	94	82	62	41	35	10	SM
J2	2.00	SPP 66	-	97	86	71	52	28	10	CL
J2	2.50	SPP 74	-	99	89	65	40	29	10	SC
J2	2.00	SPP 81	-	79	64	52	37	30	9	SC
J2	2.30	SPP 86	-	94	83	56	32	32	9	SC
J2	2.30	SPP 88	-	97	87	65	46	31	9	SC
J2	2.50	SPP 99	-	98	89	71	47	32	12	SC
J2	2.60	SPP 101	-	99	93	74	53	30	10	CL

**Quadro 4.9 - Caracterização laboratorial: Síntese dos ensaios de identificação (cont.)**

JAZIDA	PROF. (m)	FURO	SED 0.005	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	LL	IP	U.S.C.
J2	2.40	SPP 106	-	99	91	71	51	27	9	CL
J2	2.50	SPP 108	-	98	89	69	44	31	10	SC
J2	2.70	SPP 117	-	95	86	67	45	28	10	SC
J2	3.50	SPP 123	17	99	92	73	45	32	11	SC
J2	2.00	SPP 131	-	98	90	64	39	27	10	SC
J3		A	-	97	87	66	37	29	8	SC
J3		B	-	96	83	63	43	26	7	SM – SC
J3		C	-	97	87	68	48	32	10	SC
J3	0,70	201	-	82	70	50	20	NR	NP	SC
J3	0,85	202	-	96	89	70	36	21	5	SM-SC
J3	0,60	203	-	95	86	64	35	19	7	SM-SC
J3	0,40	204	-	87	76	51	28	20	5	SM-SC
J3	0,50	205	-	92	82	58	27	NR	NP	SC
J3	0,70	206	-	92	87	69	48	31	11	SC
J3	0,80	207	-	95	91	78	52	27	12	CL
J3	0,45	208	-	92	80	52	30	20	6	SM-SC
Areal nº1	2.10	SPP 1	12	100	100	99	85	23	7	SM – SC
Areal nº1	2.20	SPP 2	10	100	100	99	81	22	6	SM – SC
Areal nº1	2.50	SPP 3	10	100	100	99	85	23	6	SM – SC
Areal nº1	2.30	SPP 4	4	100	100	97	40	NR	NP	SM
Areal nº1	3.00–4.00	ST 01	-	100	100	82	19	-	-	-
Areal nº1	2.00–4.00	ST 02	-	100	99	94	54	-	-	-
Areal nº1	1.80–3.50	ST 03	-	100	100	100	72	-	-	-
Areal nº1	2.20–3.20	ST 05	-	100	100	99	12	-	-	-
Areal nº1	0.50	Cáp. 6	-	92	79	18	1	-	-	-
Areal nº2	0.80	Cáp. 8	-	91	78	41	1	-	-	-
Areal nº3	0.60	Cáp. 7	-	89	79	21	0	-	-	-
Areal nº4	0.70	Cáp. 5	-	97	87	35	1	-	-	-

Em relação aos solos finos resultantes da alteração dos gnaisses, tratam-se essencialmente de materiais de boa qualidade compostos essencialmente por areias argilosas (SC) e menos freqüentemente por argilas magras (CL), com percentagens de finos variando entre 25 e 55 %, limites de liquidez (LL) entre 23 e 34 % e índices de plasticidade (IP) entre 8 e 14 %.

No que se refere aos resultados das amostras recolhidas nas SPP1 a SPP4 da jazida designada por areal nº 01, os solos objeto de ensaios de identificação são pertencentes à cobertura “siltosa” das aluviões associada ao leito de cheias, tratando-se neste caso de materiais pouco interessantes em termos de utilização, essencialmente caracterizados como areias silto-argilosas (SC-SM), com percentagens de finos acima dos 80 %, LL entre 22 e 23 % e IP entre 6 e 7 %.

As restantes aluviões arenosas (areia média a grosseira) presentes sistematicamente na calha do rio e com espessuras interessantes, foram igualmente ensaiadas (sondagens a trado do areal n.º 1 e areais n.º 2 a 4), apresentando as curvas granulométricas boas características para diversos fins da obra como sejam filtros, drenos e inertes para concreto.

Os boletins com os ensaios de identificação constam do tomo 3.

Do conjunto de amostras recolhidas nas jazidas n.º 1 a 3 foram selecionadas 18 para realização de ensaios de compactação do tipo Proctor normal, sendo 2 da jazida 1, 12 da jazida 2 e 4 na jazida 3. A síntese de resultados é apresentada no Quadro 4.10, onde se incluem para cada amostra os valores obtidos em termos de massa específica aparente seca máxima ( $\gamma_s$ máx) e de umidade ótima ( $W_{opt}$ ).

**Quadro 4.10 – Caracterização laboratorial: síntese dos ensaios de compactação**

Jazida	Prof. (m)	Furo	$\gamma_s$ máx. (g/cm <sup>3</sup> )	$W_{opt}$ (%)
J1	1.50	SPP 32	1.772	14.3
J1	1.40	SPP 34	1.823	12.6
J2	2.90	SPP 4	1.887	13.4
J2	2.50	SPP 14	1.800	16.5
J2	2.35	SPP 16	1.892	12.5
J2	2.05	SPP 24	1.810	16.8
J2	2.30	SPP 35	1.871	14.5
J2	2.55	SPP 45	1.824	13.5
J2	2.40	SPP 57	1.885	13.8
J2	2.00	SPP 64	1.820	13.4
J2	2.50	SPP 99	1.885	14.2
J2	2.70	SPP 117	1.878	14.1
J2	3.50	SPP 123	1.815	14.6
J2	2.00	SPP 131	1.832	13.1
J3	0.70	SPP 201	1.875	9.0
J3	0.85	SPP 202	1.780	14.4
J3	0.70	SPP 206	1.743	18.0
J3	0.80	SPP 207	1.731	16.0

Da observação dos resultados tem-se que a gama de valores registada para  $\gamma_s$ máx. e de  $W_{opt}$  indicia boas características de consistência, de compactação e de colocação dos materiais finos em obra para as jazidas 1 e 2, estando situada dentro dos limites físicos de caracterização normalmente observados em numerosas barragens de aterro para formações de idêntica natureza geológica e geotécnica. Acresce que é bem patente a homogeneidade dos solos, o que facilita a sua exploração e posterior utilização como material de aterro.

Relativamente à jazida 3, os diversos valores observados evidenciam uma maior heterogeneidade granulométrica e de comportamento o que, associado às reduzidas espessuras de exploração, a tornam potencialmente menos interessante em termos de utilização.

Foram ainda realizados triaxiais de tipo CU cuja apresentação de resultados e respectiva interpretação é feita no ponto 5.3.

### Provetes rochosos

Visando avaliar do comportamento físico e mecânico dos materiais rochosos ocorrentes ao nível do local de implantação das obras foram selecionados 4 provetes para a execução do seguinte conjunto de ensaios:

- determinação da velocidade da propagação de ultra-sons (amostras secas e saturadas);
- determinação de massas volúmicas, porosidade e teor em água máximo;
- compressão simples.

As diferentes condições de execução dos ensaios assim como todos os boletins são apresentados no Tomo 3.

No Quadro 4.11 faz-se a apresentação dos principais resultados em matéria de velocidade de propagação de ondas longitudinais ( $V_L$ ), de massa volúmica real ( $\gamma_r$ ), porosidade ( $n$ ), teor em água máximo ( $W_{m\acute{a}x}$ ), módulo de elasticidade ( $E$ ) e tensão de rotura ( $\sigma_r$ ).

**Quadro 4.11 – Caracterização laboratorial: profundidades físicas e mecânicas da rocha**

Sondagem	Prof. (m)	VL (m/s)		$\gamma_r$ (kg/m <sup>3</sup> )	n (%)	W <sub>máx</sub> (%)	E (Gpa)	$\sigma_r$ (Mpa)
		Seco	Saturado					
SRC V2	14.8-15	5450	5760	2730	0,4	0,1	52	68
SRC V4	14.1-14.3	5520	5700	2660	0,3	0,1	57	131
SRC 14	13.2-13.4	5110	5690	2690	0,5	0,2	46	88
SRC V3	9.3	4680	5310	2720	0,6	0,2	32	50

Os diferentes parâmetros físicos e mecânicos registados evidenciam a excelente qualidade dos materiais rochosos em presença, designadamente no que se refere aos baixos valores de porosidade e de absorção de água e aos elevadíssimos valores de módulo de elasticidade e de tensão de rotura.

## **4.7 – CONSIDERAÇÕES GEOTÉCNICAS**

### **4.7.1 – Condições de Fundação**

#### **4.7.1.1 – Eixo barrável**

Em função do reconhecimento geológico de superfície realizado e de acordo com os resultados das sondagens executadas, considera-se que uma escavação de 0,5 a 1,5 m será em geral suficiente para se encontrar condições adequadas de fundação para os maciços estabilizadores da barragem e núcleo.

Constituem exceção a este cenário a calha do rio e trechos muito pontuais, designadamente, na margem esquerda.

Na calha do rio e no leito de cheias, haverá que remover os aluviões para se atingir o maciço cristalino, que exibirá boas condições de fundação. Essa remoção exigirá a escavação de cerca de 7 a 10,5 m na calha do rio, diminuindo no sentido do leito de cheias.

Na ombreira esquerda, as sondagens SRC-07 e SRC-09 localizadas em vales secundários evidenciaram espessuras de alteração da rocha da ordem de 3,5 a 7 m, denunciando a necessidade de escavações pontuais mais profundas. A SPP7A confirmou que o saneamento para uma adequada fundação deverá ser da ordem de 5,5 m nas proximidades da estaca BA70.

A ocorrência de trechos com abundantes afloramentos – que necessariamente condicionariam a movimentação de terras nesses locais – levou ao desenvolvimento de um conjunto de cenários de tratamento da interface rocha / aterros do núcleo [ver ponto 5.1.7 (saneamento) e perfil geotécnico da barragem no desenho n.º 4].

De salientar que se preconiza o desmonte e tratamento prévio dos afloramentos rochosos, antes da entrada, nesses trechos, dos equipamentos responsáveis pelas operações de saneamento dos materiais terrosos e de compactação dos aterros, como forma de otimização das respectivas condições de circulação e de operação.

No perfil geotécnico constante do Desenho n.º 4, apresenta-se uma linha provável de escavação para a fundação do núcleo da barragem, tendo em atenção a qualidade do maciço rochoso e a necessidade de escavar os afloramentos muito salientes que ocorrem em especial na ombreira esquerda.

#### **4.7.1.2 – Órgãos hidráulicos anexos**

Relativamente ao vertedouro, o reconhecimento geotécnico efetuado permite prever que a solução em canal escavado no maciço rochoso, numa profundidade de cerca de 10 a 15 m, necessitará de concretagem apenas na soleira descarregadora, no trecho imediatamente a jusante e nos muros laterais de entrada e confinantes das vazões.

A boa qualidade dos materiais atravessados nas sondagens SRC12, SRCV-01 e SRCV-04 a SRCV-06 deixa antever que os locais correspondentes ao canal de aproximação e soleira serão essencialmente compostos por gnaisses migmatíticos são a pouco alterados e pouco fraturados (com RQD acima de 50% a partir dos 2 m de profundidade), necessitando de explosivos para o seu desmonte.

Relativamente às proximidades da bacia de dissipação, os resultados da SRCV-03, e sobretudo da SRCV-02, revelam um comportamento algo deficiente do maciço rochoso nos 8 a 11 m superficiais, essencialmente resultado do elevado fraturamento da rocha.

O volume de material rochoso escavado para implantação do vertedouro será reutilizado no aterro da barragem, contribuindo assim para uma otimização de recursos.

No final do canal do vertedouro prevê-se a execução de uma bacia de dissipação que interessará rocha de boa qualidade (a cotas inferiores), de modo a assegurar que no trecho de restituição das vazões a jusante - que será escavado provavelmente num nível superficial composto por formações aluvionares - as velocidades de circulação sejam moderadas.

Relativamente à fundação da tomada de água e descarga de fundo, apenas haverá que minimizar eventuais constrangimentos relativos às formações aluvionares e/ou de alteração de menor consistência e freqüentemente saturadas, ocorrentes no leito de cheias do rio, fundando-se a galeria e a torre de tomada de montante no maciço rochoso de boa qualidade e adequadas características geomecânicas (conferir qualidade evidenciada pelo maciço rochoso nas sondagens SRCT-01 e SRCT-02).

#### **4.7.2 – Tratamento da Fundação**

No que se refere às características hidráulicas do maciço de fundação, os diversos ensaios de perda de água executados nas sondagens ao longo de todo o eixo barrável revelaram, na generalidade, a ocorrência de reduzidas absorções, na maioria dos casos com valores inferiores a 1 Lugeon, sendo mesmo nulos em muitos dos trechos ensaiados.

Conforme já assinalado antes, existem algumas situações onde os trechos superficiais evidenciaram absorções relativamente mais importantes, provavelmente correspondentes a fraturas abertas em trechos localizados por descompressão das formações.

Relativamente à calha do rio, a acrescer às absorções verificadas nas sondagens SRC-02 e SM18, foram encontrados espessos níveis de alteração da rocha subjacentes à camada de aluviões nas sondagens SM17 e SMC-104 (ver perfis geotécnicos na calha do rio).

Por se tratar do local em que a altura de barragem é a maior e porque a tendência a uma percolação montante-jusante será mais pronunciada, considera-se prudente, de acordo com os dados disponíveis, prever a execução de um tratamento de impermeabilização com cortina de injeções cimentícias levada até uma profundidade máxima que se estima da ordem dos 10 m abaixo do nível de escavações preconizadas para a fundação do núcleo da barragem e numa extensão de cerca de 175 m (ver Desenhos nºs 4 e 5). A execução do tratamento deverá ser realizada a partir da atual superfície do terreno natural, ou seja, deverá preceder o saneamento das aluviões.

Este tratamento irá igualmente contribuir para o reforço pontual das condições de fundação da barragem.

De igual modo, considera-se recomendável a execução de um tratamento de impermeabilização no trecho de cerca de 50 m de extensão compreendido entre as estacas BA30 e BA32/33. Em função dos resultados dos ensaios de perda de água executados nas sondagens SRC6 e SRC14, a profundidade estimada para o tratamento é de 15 m, devendo a furação iniciar-se a partir da superfície do terreno natural.

O tratamento da fundação consistirá na execução de uma fiada única, com os furos inclinados 20° com a vertical, para montante, dispostos em quincôncio e distando entre si 3 m (ver pormenorização no Desenho nº 4).

A definição da inclinação do tratamento ponderou o diagrama de fraturas apresentado na Fig. 4.1 e a sua distribuição espacial e importância relativa, bem como as condições técnicas de execução.

A cortina de injeções cimentícias será realizada com o objectivo de diminuir a percolação de caudais através da fundação da barragem, reduzindo desta forma as perdas por infiltração e de impedir o estabelecimento de pressões elevadas no contato aterro-fundação, em particular no que se refere aos materiais finos.

Como se pode observar no Desenho nº 4, a cortina encastrará na maior parte do seu desenvolvimento, no maciço considerado impermeável, isto é, com absorções médias inferiores a 1 Lugeon.

A metodologia de execução da cortina de impermeabilização prevê a realização de furos primários espaçados de 24 m, secundários espaçados de 24 m, ternários espaçados de 12 m e quaternários espaçados de 6 m. Em local em que as intervenções tiverem absorções superiores a 30 kg/m far-se-ão furos de verificação.

Prevê-se que todos os furos primários e secundários sejam objeto da execução de ensaios de permeabilidade ao longo de toda a sua extensão. Quanto aos furos ternários e quaternários serão objeto de ensaios no trecho final de injeção. Metade dos furos primários será objeto de recuperação de testemunho.

Considera-se que o diâmetro mínimo dos furos será da ordem de 50 mm, com exceção dos furos com recuperação de amostra cujo diâmetro será de 76 mm.

Na restante extensão de barragem, designadamente na zona da estaca BA106 (local da sondagem SRC11), prevê-se que após realizadas as escavações para a fundação dos aterros se faça uma inspeção detalhada do maciço, no sentido de serem despistadas eventuais fraturas que necessitem de um tratamento cimentício localizado, não se antevendo a necessidade de adoção de um tratamento mais sistemático.

O tratamento de fraturas abertas ou de bolsadas terrosas deverá ser objeto de preenchimento com caldas muito fluídas, sem pressão.

Em caso de identificação de fraturas localizadas e numa perspectiva de regularização e melhoria das condições hidráulicas, poderá igualmente ser aconselhável construir o aterro do núcleo sobre uma camada pouco espessa de concreto projetado, aplicado imediatamente antes da colocação da primeira camada.

Finalmente, e após o 1º enchimento, deverá ser ponderada a eventualidade de execução, a partir do coroamento, de tratamentos pontuais da fundação de trechos correspondentes a importantes passagens de água para jusante.

### 4.7.3 – Materiais de Construção

A solução adotada para o corpo da barragem corresponde a um perfil tipo de enrocamento com núcleo argiloso, solução que permite otimizar as disponibilidades de materiais de construção reconhecidas.

Esta solução exigirá um volume da ordem de 490 mil metros cúbicos de solos finos para construção do núcleo, que se constitui como o elemento de estanqueidade dos aterros de enrocamento.

Foi assim feito o reconhecimento geológico dos locais abrangendo a área envolvente do eixo da barragem e identificadas áreas potencialmente adequadas à exploração deste tipo de materiais.

As áreas mais interessantes tratam-se de jazidas de saibros resultantes da meteorização dos gnaisses, com volumes exploráveis da ordem de 200 000 m<sup>3</sup> – jazida 1 mais próxima do local de barragem – e de 1 milhão de metros cúbicos – jazida 2 junto à estrada Alto Santo – Iracema, localizada a cerca de 6 km, em linha reta, da ombreira esquerda da barragem (ver Desenho n.º 10).

Foi ainda estudada a jazida 3, situada na margem direita a cerca de 2200 m do vertedouro, cujas espessuras de exploração – em regra inferiores a 0,8-1 m - e acessibilidades não são as melhores, mas poderá eventualmente ser utilizado, sendo a única com potencial aparente na margem direita. O volume estimado passível de exploração é da ordem de 400 000 m<sup>3</sup>, mas, como se referiu no ponto de caracterização laboratorial, a heterogeneidade dos materiais e também as suas resistências mecânicas inferiores (Capítulo 5.3) retira-lhe interesse relativamente às jazidas identificadas na margem esquerda que deverão ser utilizadas prioritariamente.

O enchimento da calha do rio com aluviões arenosas em grande quantidade permite prever que não haverá dificuldade na exploração próxima do eixo da barragem, de cerca de 200 mil m<sup>3</sup> de areias de boa qualidade que poderão ser utilizadas como materiais de filtro e como inertes para o concreto (ver caracterização laboratorial dos areais nº 1 a 4).

Também na área interessada pela bacia hidráulica, designadamente nas proximidades do eixo da barragem, ocorrem grandes afloramentos de gnaisses migmatíticos e de granitos gnaissoides, que permitem, sem dificuldade, obter grandes volumes de rocha sã, adequada

quer para os aterros de enrocamento, enrocamento de proteção e inertes a utilizar na fabricação do concreto (alguns assinalados no desenho nº. 10).

Foram exploradas diversas pedreiras a distâncias de apenas alguns quilômetros que poderiam ser retomadas, o que não parece necessário, já que este tipo de material poderá ser explorado na proximidade das obras, através da abertura de novas pedreiras.

Admite-se que a maioria das necessidades em enrocamento possa ser originária das escavações que serão levadas a cabo quer para regularizar a superfície de fundação da barragem, quer, sobretudo, para implantação do vertedouro, escavações que darão origem a volumes significativos de materiais rochosos, adequados, designadamente, para a construção dos aterros de enrocamento da barragem que, no entanto, poderão não chegar para garantir o volume total de cerca de 1,2 milhões de m<sup>3</sup>.

Neste perspectiva, poderá ser equacionada a exploração dos afloramentos situados imediatamente a montante do vertedouro, onde poderá ser eventualmente instalada uma pedreira (as 3 sondagens realizadas – SRJ109 a SRJ111 – deram indicações satisfatórias quanto à qualidade e quantidade dos materiais ocorrentes, havendo, em caso de necessidade, possibilidade de exploração de outros afloramentos rochosos existentes a curta distância do eixo da barragem).

## **5 - BARRAGEM**

### **5.1 - DESCRIÇÃO GERAL DA BARRAGEM**

Nas fases anteriores ao presente estudo – “Fase I – Estudo de Alternativas para a Localização da Barragem” e “Fase III – Estudos Básicos e Concepção Geral do Projeto” - foram analisadas várias hipóteses alternativas concernentes quer à localização do eixo da barragem, quer ao corpo da barragem.

A análise técnico-económica das soluções alternativas estudadas permitiu, na Fase III, selecionar a solução que é tratada detalhadamente no presente capítulo - em enrocamento com núcleo de materiais finos - e que foi objeto de otimização e detalhamento na presente etapa dos estudos.

#### **5.1.2 - Estudos anteriores**

Na Etapa A dos estudos, depois de ponderadas as condicionantes locais, nomeadamente no que diz respeito à topografia e geotecnia e à disponibilidade de materiais de empréstimo, foram concebidas três hipóteses alternativas para a Barragem de Figueiredo: i) em enrocamento com núcleo central argiloso; ii) em enrocamento com laje em concreto no paramento de montante e iii) em concreto rolado (CCR).

No que se refere à solução em concreto rolado, as vantagens que usualmente caracterizam este tipo de soluções, relativamente a soluções em enrocamento, não resultaram, no presente caso, preponderantes. Com efeito, as boas condições geológico-geotécnicas permitem a implementação, no caso de soluções de aterro, de um vertedouro escavado na rocha, apenas com uma soleira de controlo em concreto. Por outro lado, no que se refere às obras de desvio, - outro dos argumentos que pesam na escolha deste tipo de barragem – o extenso período de estiagem, com 5 meses de escoamentos médios nulos ou aproximadamente nulos, permite minimizar as obras de desvio associadas às soluções de aterro que podem ser, designadamente, objeto de construção por partes, procedendo-se ao fecho dos aterros que interessam o leito de cheias em período de estiagem e utilizando-se a galeria de tomada de água para derivação de eventuais vazões afluentes neste período.

A disponibilidade, no local da obra e logo a montante no reservatório, de diversos afloramentos com boas condições para a instalação de uma pedreira e a possibilidade de utilização no corpo do aterro dos materiais de escavação, designadamente da estrutura vertedoura, viabilizaram a

ponderação e análise da solução de barragem de enrocamento com laje de impermeabilização a montante. De fato, a boa qualidade do maciço rochoso aflorante em diversos locais na área de inundação do reservatório permitiu antecipar a existência de boas condições para a obtenção das granulometrias necessárias à execução dos aterros de enrocamento de granulometria extensa que integram o perfil tipo. A laje do paramento de montante, embora obrigue à mobilização de equipamento específico, teria uma altura moderada, não implicando dificuldades significativas, nem mesmo de fundação do respectivo plinto, já que o maciço rochoso exibe boas características geomecânicas a cerca de 2 a 3 m de profundidade, com exceção da calha do rio, onde estas profundidades são superiores, atingindo os 10 m. Esta solução assumiu interesse particular atendendo à eventual escassez de materiais finos capazes de viabilizarem soluções de terra ou soluções mistas de terra- enrocamento.

De fato, potenciais jazidas de materiais finos com características adequadas a cumprirem funções de estanqueidade foram reconhecidas, a distâncias já significativas do local de implantação da obra – uma a 2,8 km e outra a cerca de 6 km em linha reta a partir da ombreira esquerda – embora ainda compatíveis com a viabilidade econômica da sua exploração e outra na margem direita, a cerca de 2,5 km do vertedouro, o que baseou a definição da solução alternativa em enrocamento com núcleo central em materiais finos. Nesta solução, os maciços estabilizadores são materializados por enrocamento de granulometria extensa também com materiais obtidos, essencialmente, das escavações, designadamente para a execução do vertedouro. Esta solução, que resultou a mais econômica, foi desenvolvida inicialmente com taludes exteriores relativamente suaves – 1:2 (V:H), ponderado a eventual integração de materiais rochosos muito alterados. Após uma análise econômica mais pormenorizada comparativa entre as soluções alternativas equacionadas, concluiu-se que a solução de enrocamento com núcleo argiloso era a solução mais econômica e a mais interessante, do ponto de vista técnico, tendo sido, como tal, selecionada.

Confirmada no entanto a boa qualidade do maciço rochoso, pôde-se otimizar a solução de barragem selecionada que foi objeto de detalhamento na presente fase, com taludes exteriores de igual inclinação a 1:1,5 (V:H).

Na presente fase dos estudos, a solução escolhida foi de fato alvo de alguns ajustamentos e adaptações, efetuados tendo em conta os resultados dos trabalhos de prospeção geotécnica entretanto realizados, a informação, amavelmente cedida pelo Painel de Consultores, relativa à resistência ao corte típica de enrocamentos fabricados com materiais semelhantes aos da barragem de Figueiredo e os estudos hidráulicos e estruturais mais detalhados que foram levados a cabo nesta fase.

### **5.1.3 - Planta e perfil longitudinal**

#### **Planta**

Nos Des. 11 a 14 apresenta-se a implantação da barragem. Esta foi essencialmente condicionada pela topografia do local, constituída por diversos boqueirões a que se associa a ocorrência de freqüentes afloramentos que obrigarão a alguns trabalhos de preparação e tratamento superficial da fundação.

Para o eixo definido, o desenvolvimento total da superfície de referência vertical que passa pelo coroamento, à cota (103,5), é de 2689 m. Existem ainda dois aterros de fecho de duas pequenas portelas, uma na ombreira direita, com 120m de extensão e outra na ombreira esquerda, com 138m de extensão. Existiria ainda uma outra portela na ombreira direita, com cerca de 160m de extensão, que no entanto será utilizada para implantação do vertedouro.

A superfície de referência é constituída por quatro segmentos de reta. O primeiro segmento de reta inicia-se na ombreira direita (estaca BA12), interessa a calha do rio Figueiredo e termina na sua ombreira esquerda (estaca BA82+16). Tem um comprimento igual a 1416m e direção aproximada SEE-NWW. No seguimento deste, desenvolve-se um outro segmento de reta (estacas BA82+16 a BA130+17), interessando a ombreira esquerda, com uma extensão de 961m e direção aproximada NEE-SWW. Segue-se um terceiro segmento de reta (estacas BA130+17 a BA134+11) com cerca de 254 m de extensão e direção E-W e finalmente um último segmento com cerca de 58m de extensão (estacas BA134+11 a BA146+9), que faz a ligação ao acesso existente na ombreira esquerda.

O alinhamento definido pela superfície de referência tem o seu início e final nos pontos de coordenadas N=9378148,11; E=579003,15 (ombreira esquerda) e N=9378138,24; E=582234,16 (ombreira direita).

#### **Perfil longitudinal**

O boqueirão 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. Assim, o perfil definido pela interseção da superfície de referência com o terreno natural é caracterizado por uma geometria irregular que interessa diversos vales de pendentes, em geral, suaves.

A altura máxima da barragem acima do leito natural do rio é 31,5m e, acima da sua fundação, cerca de 41,0m.

A cota do coroamento - (103,50) - foi definida com base nos estudos de folga efetuados no Capítulo 5.2.

A ocorrência de assentamentos a longo prazo, quer do corpo da barragem quer da fundação, variáveis com a altura da obra, serão compensados por uma sobrelevação do aterro. A implementação deste tipo de medida permite minorar os efeitos negativos quer do ponto de vista estético, quer do ponto de vista funcional e da segurança da obra.

A definição dos valores a conferir à sobrelevação do coroamento resultaram da análise de tensões-deformações efetuada no Capítulo 5.4 e da ponderação de valores usuais, em termos de percentagens de altura da barragem, divulgados na literatura da especialidade. Assim, definiu-se um valor máximo da contraflecha igual 0,4m na zona em que a barragem atinge maior altura, numa extensão de 180m. Nas restantes zonas, a definição da contraflecha teve como base critérios conservativos e a necessidade de não se estabelecerem pontos baixos no coroamento que se traduzissem pela acumulação de água. No Quadro 5.1 indicam-se os valores adotados na totalidade do desenvolvimento do coroamento.

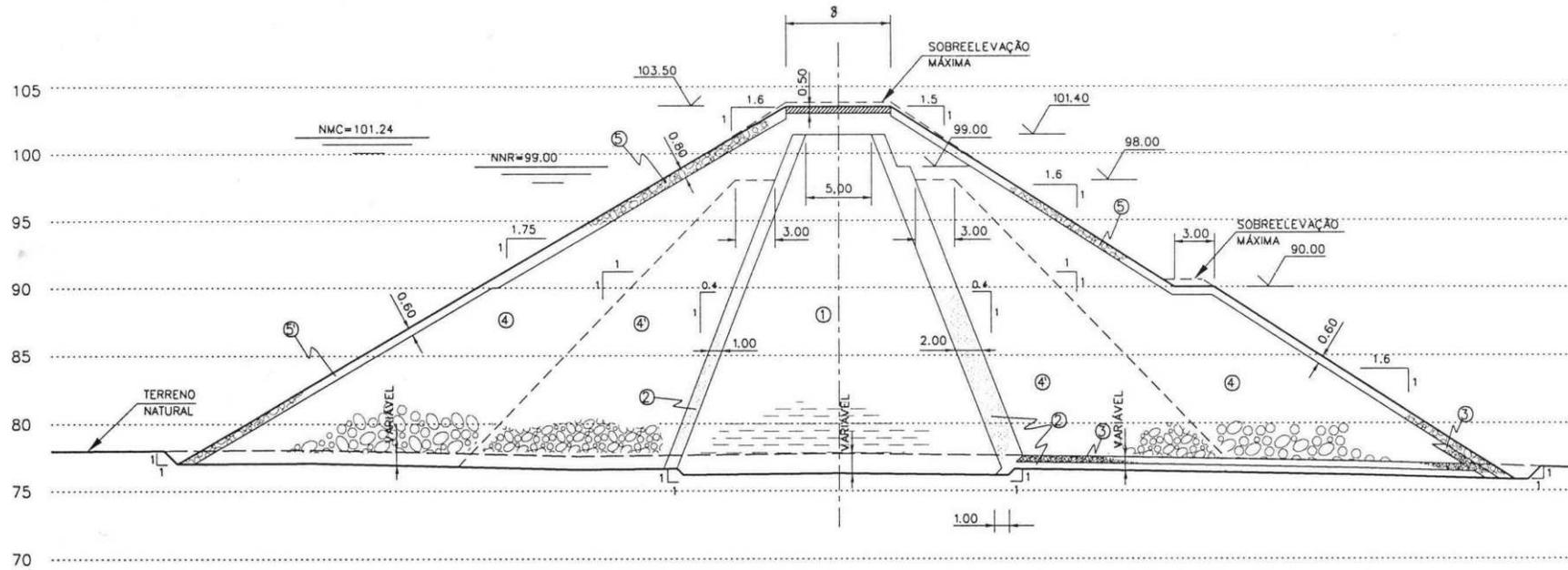
**Quadro 5.1 – Sobrelevação do coroamento**

Estacas	Configuração	Valor Máximo e Mínimo em Cada Trecho
BA00 a BA03	Variável	0 – 10 cm
BA03 a BA05	Constante	10 cm
BA05 a BA11	variável	10 – 0 cm
BA12 a BA22	variável	0 – 30 cm
BA22 a BA35	constante	30 cm
BA35 a BA44	variável	30 – 40 cm
BA44 a BA52	constante	40 cm
BA53 a BA66	variável	40 – 30 cm
BA66 a BA116	constante	30 cm
BA116 a BA125	variável	30 – 25 cm
BA125 a BA139	constante	25 cm
BA139 a BA146	variável	25 – 0 cm

#### 5.1.4 - Perfil tipo

O perfil tipo selecionado é em enrocamento com núcleo argiloso, utilizando, essencialmente, materiais provenientes da exploração em jazidas na proximidade da obra e das escavações, designadamente, para construção do vertedouro. O perfil tipo representa-se no Des. 13 e, esquematicamente, na Fig. 5.1.

O coroamento da barragem, à cota (103,50), tem uma largura de 8m, uma folga de 4,5m relativamente ao NNR e de 2,24m relativamente ao NMC para a cheia de período de retorno de 1000 anos.



- LEGENDA
- ① - NÚCLEO
  - ② - FILTROS
  - ③ - DRENOS
  - ④ - ENROCAMENTO SELECIONADO DE GRANULOMETRIA EXTENSA
  - ④ - ENROCAMENTO DE GRANULOMETRIA EXTENSA
  - ⑤ e ⑤ - ENROCAMENTO DE PROTEÇÃO

Figura 5.1 - Perfil Tipo

O coroamento do núcleo, que se localiza um pouco acima da cota do nível de máxima cheia - (101,7) -, terá uma largura de 5m, e a inclinação dos taludes de montante e jusante a 1/0,33 (V/H). Dado tratar-se de uma barragem com maciços estabilizadores em enrocamento, o núcleo é o único elemento que cumpre funções de estanqueidade, o que, associado às características granulométricas e de plasticidade dos materiais reconhecidos – que não são particularmente finos nem particularmente plásticos – não aconselha o aumento da inclinação dos seus taludes, por forma a minimizar quer os caudais percolados quer, principalmente, as transferências de tensões entre os materiais dos maciços, mais rígidos, e do núcleo, mais deformáveis. As áreas de empréstimo dos solos para o núcleo localizam-se a montante do eixo, até distâncias de 6 km em linha reta do contorno exterior de implantação da barragem, sendo que a mais próxima fica localizada no interior do reservatório.

A separação entre o núcleo e o maciço estabilizador de jusante será assegurada por um filtro e por um dreno inclinados, com, respectivamente, 2,0 e 1,5m de largura (na horizontal), à excepção dos seus trechos superiores, acima do NNR, em que terão apenas 1m de espessura para facilitar a compactação dos materiais de enrocamento adjacentes.

O filtro chaminé assume um papel preponderante no que se refere ao adequado comportamento da obra e à sua segurança, captando e encaminhando para o dreno os caudais percolados pelo núcleo. O filtro chaminé acompanhará sempre o talude de jusante do núcleo a que confere proteção contra potenciais fenômenos de erosão interna. O dreno prolongar-se-á 3m sob o maciço estabilizador de jusante.

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

As areias para os filtros poderão ser exploradas ao longo da calha do rio, na área do reservatório, cujas disponibilidades são superabundantes. De fato, as granulometrias disponíveis das areias viabilizam a sua utilização como materiais de filtro. No que se refere aos materiais para drenos, estes deverão ser obtidos em pedreiras localizadas na proximidade.

Os maciços estabilizadores de montante e de jusante serão constituídos por um enrocamento de granulometria extensa com percentagem de finos em geral inferior a 8% após compactação. Nos níveis inferiores do maciço de jusante em contato com a formação, por razões de drenagem, a percentagem de finos será limitada a 5%. Os materiais de enrocamento serão

provenientes quer das escavações para implantação do vertedouro – de onde se prevê obter grande parte do volume total necessário - quer da exploração do maciço rochoso aflorante no reservatório, nas proximidades da barragem, de muito boa qualidade.

No que se refere à geometria externa da barragem, adotou-se para os taludes de montante e jusante, inclinações de 1/1,50 (V/H), possuindo o talude de jusante uma banquetta à cota (90,00) com 3m de largura. Esta banquetta incorporará elementos de drenagem das águas pluviais e facilitará o acesso na fase de execução dos trabalhos e, posteriormente, na fase de inspeção e eventuais obras de manutenção.

O paramento de montante é revestido por uma camada de proteção em enrocamento, com espessura de 0,90m acima da cota (90,0) e 0,70m abaixo desta cota, assentando o rip-rap directamente sobre o aterro de enrocamento do maciço. O enrocamento de proteção terá, nas cotas superiores à (90), um D<sub>máx</sub> entre 600 e 800mm e um D<sub>50</sub> entre 350 e 500mm e nas cotas inferiores um D<sub>máx</sub> entre 500 e 600mm e um D<sub>50</sub> entre 250 e 350mm.

A jusante, o talude exterior será protegido por uma camada de enrocamento, idêntico à das cotas mais baixas do talude de montante, também com uma espessura de 0,7m.

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

### **5.1.5 - Largura do coroamento**

A largura do coroamento de uma barragem é condicionada por fatores que dizem respeito quer a questões de segurança da própria barragem, quer à sua eventual utilização como eixo viário, quer, ainda, às necessidades construtivas.

Em geral, a largura do coroamento deverá ser tal que exista um comprimento mínimo de percolação através da barragem, de modo a garantirem-se gradientes adequados durante a fase de pleno armazenamento.

A determinação da largura do coroamento poderá ser efetuada recorrendo a expressões indicadas pela bibliografia da especialidade:

$$L = 1,1 \sqrt{H} + 1$$

$$L = 3,6 \times H^{\frac{1}{3}} - 3 \quad (\text{Código Japonês, 1957})$$

em que H é altura máxima da barragem em metros.

A primeira expressão conduz a um valor de 7,2m enquanto a segunda, mais conservativa e adequada a zonas de elevada sismicidade, conduz a um valor igual a 8,4m.

Ponderados os valores obtidos e as condicionantes da obra em causa, adotou-se um valor igual a 8m para a largura do coroamento.

### **5.1.6 - Sistema de drenagem**

O sistema de drenagem interno da barragem é constituído pelos filtro e dreno chaminé, localizados imediatamente a jusante do núcleo e pelas cotas inferiores do maciço estabilizador de jusante, materializadas por enrocamento de granulometria extensa com percentagem de finos limitada a 5%.

A limitação dos finos do aterro de enrocamento nas cotas inferiores do maciço permitirá garantir um coeficiente de permeabilidade adequado à drenagem para jusante das águas captadas pelo filtro/dreno chaminé e das provenientes da fundação.

A drenagem através destas zonas do aterro de enrocamento far-se-á longitudinal e transversalmente. Transversalmente, coincidindo com as cotas inferiores dos principais boqueirões, foi definida uma inclinação mínima de 2% no sentido do pé de jusante, por forma a promover uma mais fácil drenagem das águas.

O estabelecimento de uma pendente mínima no sentido transversal teve como objetivo impedir a acumulação de água e permitir que a drenagem se efetue por gravidade.

De referir que a jusante de alguns dos pontos baixos da obra, a cota do terreno aumenta, tornando estes pontos baixos zonas de acumulação de água, sem saída. Para solucionar este problema preconizou-se a realização de valas escavadas no terreno de forma a garantir uma pendente mínima de 2% e a conseqüente restituição gravítica da vazão.

No Quadro 5.2 apresenta-se as características das zonas drenantes transversais que terão capacidade para drenar a totalidade da vazão percolada através da fundação e do corpo da barragem ao longo do seu desenvolvimento que se estima ser, de acordo com os cálculos efetuados, da ordem de 11 l/s. No dimensionamento das zonas transversais de drenagem foi adotado um coeficiente de segurança igual a 3.

**Quadro 5.2 – Características das zonas drenantes**

Identificação	Localização (Perfil a Eixo da Zona Drenante)	Largura (m)	Espessura (m)
D1	P1	5	2
D2	P6	10	2
D3	P7	5	2
D4	P10	100 a 160 (*)	12
D5	P11	15	2
D6	P15	30	2
D7	P17	10	2
D8	P22	50	2
D9	P24	25	2
D10	P28	5	2

(\*) zona da baixa aluvionar do vale central

O corpo da barragem possui um sistema de drenagem das águas superficiais que escorrem sobre o paramento de jusante, constituído por uma canaleta de concreto de 300mm de diâmetro, localizada na interseção do paramento com a banqueteta. Para o efeito conferiu-se à banqueteta pendentes longitudinais, pela sua correção local a partir da zona central de cada um dos boqueirões em direção a cada uma das respectivas margens, para além de pendentes transversais de 2% em direção ao seu alinhamento interior.

No encaixe do talude de jusante com a fundação, desenvolve-se uma valeta, para cuja realização se aproveita a escavação associada ao saneamento da fundação, sendo materializada por uma caleira argamassada, de seção trapezoidal com 1,0m de largura na base interior e talude de jusante inclinado a 1:1.

As águas recolhidas nas caleiras da banqueteta são conduzidas para a valeta existente na inserção da barragem na fundação, nas margens, e posteriormente conduzidas por estas para os pontos baixos de cada boqueirão.

### **5.1.7 - Saneamento**

A definição do saneamento a realizar para fundação dos maciços estabilizadores e núcleo da barragem foi efetuada com base no reconhecimento geológico de superfície e de acordo com os resultados da prospeção geotécnica realizada que incluiu sondagens à pá e picareta e sondagens rotativas.

Ao longo do desenvolvimento da obra foram identificados inúmeros afloramentos rochosos, com particular destaque para a margem esquerda, e que são, em termos de saneamento, objeto de tratamento específico. Estes afloramentos de maciço rochoso de elevada resistência apresentam-se por vezes disseminados em blocos isolados de pequena dimensão ou em grandes massas, com pendentes mais ou menos suaves, sempre orientados segundo

montante-jusante, com direção aproximadamente paralela ao rio Figueiredo. Entre afloramentos ocorrem depósitos de alteração do maciço rochoso, em geral com espessuras que não ultrapassam 1,5m ou, na calha do rio, material aluvionar até cerca de 10m de profundidade.

Face às características dos afloramentos ocorrentes foram definidos procedimentos específicos para o tratamento de cada caso e que se sintetizam subseqüentemente.

- i) Remoção de todos os blocos soltos na área de fundação da barragem.
- ii) Afloramentos isolados com dimensão máxima inferior a cerca de 3m serão objeto de desmonte (corte) previamente ao início das escavações para fundação da barragem; este corte deverá atingir a cota de fundação prevista para as áreas confinantes.
- iii) Afloramentos de grande extensão transversal e longitudinal de pendente suave - admitindo-se como valor máximo uma inclinação de 1:3 (V:H) por motivos de traficabilidade -, serão apenas objeto de um tratamento superficial. Este tratamento integra a regularização pontual da superfície, nomeadamente através de enchimentos com concreto dental, e a limpeza com jacto de água e posterior preenchimento com calda de cimento muito fluída de eventuais fraturas sub-verticais visivelmente abertas. Posteriormente, a superfície do maciço será, na área de fundação do núcleo, revestida com concreto projetado, seguindo-se, de imediato, a compactação da primeira camada de material do núcleo, ainda com o concreto fresco, de forma a que haja uma melhor ligação entre o material do núcleo e o maciço rochoso; com este procedimento pretende-se evitar o estabelecimento de caminhos preferenciais de percolação através do contacto fundação – núcleo, através da melhoria da ligação do aterro ao maciço rochoso.
- iv) Afloramentos de grande extensão transversal e longitudinal de pendente superior a 1:3 (V:H) no sentido longitudinal, serão objeto de desmonte na área de fundação do núcleo, de forma a atingirem-se inclinações da ordem de 1:3 (V:H). Esta medida visa estabelecer condições de compactação adequadas que minimizem eventuais problemas de percolações preferenciais pelo contacto entre o maciço rochoso e o núcleo. Nas cotas finais de desmonte, deverão utilizar-se técnicas de “smooth blasting” que permitam minorar eventuais perturbações prejudiciais no maciço rochoso; o tratamento da superfície final será em tudo idêntico ao preconizado no item iii).

Os trabalhos de saneamento para fundação da barragem iniciar-se-ão pelos associados aos afloramentos, seguindo-se, em seguida, a escavação corrente entre afloramentos.

Na restante área de fundação da barragem considerou-se que uma escavação entre 0,5 e 1,5m será em geral suficiente para se encontrar condições adequadas de fundação para os maciços estabilizadores da barragem, constituindo-se exceções a este cenário a calha do rio

(na proximidade das estacas BA47 e BA51) e alguns trechos muito pontuais na margem esquerda, na proximidade das estacas BA71 e BA80. Com efeito, na ombreira esquerda, algumas das sondagens realizadas - SRC-07 e SRC-09 - evidenciaram espessuras de alteração da rocha da ordem de 3,5 a 7m, denunciando a necessidade de escavações pontuais mais profundas que na generalidade do desenvolvimento longitudinal da barragem.

Na calha do rio e no leito de cheias haverá que remover as aluviões para se atingir o maciço rochoso que exhibirá no geral excelentes condições de fundação e que, cumulativamente, será objeto de um prévio reforço da fundação ao longo do eixo por via da implementação de um tratamento com cortina de injeções cimentícias de modo a melhorar sobretudo o comportamento hidrogeológico. Essa remoção de aluviões exigirá a escavação sob o núcleo e maciços até profundidades que poderão atingir os cerca de 10m.

No Quadro 5.3 indicam-se os saneamentos previstos para fundação dos maciços da barragem e núcleo nas áreas exteriores aos afloramentos rochosos. Os valores indicados terão sempre que ser objeto de revisão em fase de obra face às condições gerais e particulares que venham a ser reconhecidas.

**Quadro 5.3 – Profundidades de Saneamento**

Perfil	Estacas	Altura da Barragem acima do Terreno Natural (m)	Espessuras de Saneamento	Sondagens
P1	BA03+10	10	1,5	SRC10/SPP101
P2	BA08	5	1,0	SPP102
P3	BA13	3	0,5	SPP103
P4	BA18	7	0,5	SPP103/SPP104
P5	BA23	20	1,0	SRC8/SPP105
P6	BA28	22	1,5	SPP106
P7	BA32	18	1,0	SRC14/SRC6
P8	BA37	18	1,5	SPP107
P9	BA42	25	1,5	SPP108/SMC18
P10	BA47	30	10,5	SMC19
P11	BA51+14	32,5	0,5	SPP01/SPP02
P12	BA57	17	0,5	SRC106/SPP13
P13	BA62	17	<0,5	SRC5
P14	BA66	9	<0,5	-
P15	BA71	22	1,0	SRC7/SPP7A
P16	BA75	18	0,5	-
P17	BA80	21	0,5	SRC9/SRC107
P18	BA85	15	0,5	SRC107
P19	BA90	5	0,5	SPP115
P20	BA95	11	1,0	SRC108
P21	BA101	17	1,0	SPP116
P22	BA106	23	1,5	SRC11
P23	BA110	16,5	1,5	-
P24	BA114+13	16,5	1,5	-
P25	BA119	10	1,5	SRC13
P26	BA124	7	1,5	SRC13
P27	BA129	7	1,0	-
P28	BA133+15	18	0,5	SRC15
P29	BA139	6	0,5	-
P30	BA144	1,5	0,5	-
P31	BA161	2,5	0,5	-

## 5.2 - DIMENSIONAMENTO DA FOLGA

### 5.2.1 - Considerações iniciais

O cálculo da folga de uma barragem de terra assume particular importância tendo em conta que o galgamento deste tipo de obra é um dos principais incidentes que podem conduzir a uma potencial situação de rotura.

Nos cálculos efetuados neste capítulo procedeu-se à otimização do valor da folga, integrando fatores relacionados com a segurança da barragem e relacionados com os custos da obra.

Na determinação da folga da Barragem de Figueiredo foram tidos em consideração diversos parâmetros, ponderados sempre de forma conservativa, tendo em conta que a sua subavaliação reduz consideravelmente a segurança global da barragem, sendo responsável por uma elevada percentagem de acidentes, particularmente em barragens de aterro. De entre estes, discriminam-se, em seguida, os que se consideram mais importantes, em especial no que diz respeito à obra em questão:

i) Fatores meteorológicos

A ação do vento sobre o reservatório provoca sobrelevações temporárias do nível de água e ondulações cujas características - magnitude, duração, orientação e distribuição sazonal - deverão ser devidamente ponderadas e aferidas ao local da barragem.

A ocorrência em simultâneo dos ventos e cheias de projeto, deve ser devidamente ponderada no cálculo da folga, não sendo de prever a ocorrência conjunta da cheia máxima de projeto e de um vento excepcional.

ii) Fatores hidrológicos e hidráulicos

Estes fatores são relativos às características da cheia de projeto. Entre estes incluem-se a forma do hidrograma de cheias, o seu pico, o seu volume e duração, bem como o nível de confiança que os dados hidrológicos merecem.

Outro fator importante está relacionado com as características dos órgãos de descarga, nomeadamente com o tipo de vertedouro, com a fiabilidade do seu dimensionamento e com a manutenção em fase de exploração.

iii) Fatores relacionados com outros fenômenos naturais

Este grupo compreende todos os fenômenos associados à ocorrência de sismos tais como seichas, deslizamento nas margens do reservatório e assentamentos.

Embora a Barragem de Figueiredo não se localiza numa zona caracterizada por um coeficiente de sismicidade elevado, no dimensionamento da folga da barragem teve-se em devida atenção a possível ocorrência de sismos.

iv) Características do reservatório

A velocidade do vento sobre o reservatório e a altura das ondas geradas são condicionadas pela topografia da zona em que se localiza - desenvolvimento e forma - fatores contabilizados através do fetch efetivo e fetch máximo.

v) Características da barragem

O espraiamento da onda sobre a barragem depende não só da inclinação mas também da rugosidade do paramento de montante. A resistência à erosão do coroamento e do talude de jusante são fatores que devem ser tidos em conta no dimensionamento da folga.

vi) Fatores estruturais

Um dos fatores de grande importância diz respeito ao assentamento da barragem e da fundação.

No caso da Barragem de Figueiredo serão removidos os materiais superficiais de menores características mecânicas e os aterros serão fundados sobre o maciço rochoso, pelo que os assentamentos da fundação terão pequeno significado.

vii) Fatores de risco

Estes fatores dizem respeito às conseqüências humanas e materiais de uma eventual rotura.

Dos parâmetros acima descritos, nem todos são passíveis de quantificação. Alguns, por serem de natureza subjetiva, só poderão ser incluídos indiretamente através de cálculos conservativos das grandezas quantificáveis ou através de um arredondamento por excesso da cota mínima obtida para o coroamento da barragem.

A determinação da folga foi realizada atendendo aos critérios propostos pelo USBR (1981).

## 5.2.2 - Combinações de ações

A definição das combinações de ações consideradas no cálculo da folga, que se definem em seguida, regeu-se pelos critérios propostos pelo UBSR (1981).

- i) **Combinação 1** - Diz respeito à ocorrência de um vento excepcional quando o nível do reservatório é o nível normal de reservamento e quando já ocorreu a totalidade do assentamento da barragem. Neste caso as variáveis base são a maré e a ondulação geradas por um vento caracterizado pelo seu valor raro. A ação permanente desta combinação corresponde ao assentamento da barragem, quantificado pelo seu valor médio obtido para o perfil mais desfavorável.

**NNR + ondulação causada por um vento excepcional + maré gerada pelo vento + assentamento da barragem.**

- ii) **Combinação 2** - Diz respeito à ocorrência de uma seicha devida ao sismo, quando o reservatório se encontra ao nível normal de reservamento e sobre ele sopra um vento do tipo habitual, tendo já ocorrido a totalidade do seu assentamento. Para esta combinação a ação variável base é a ondulação gerada pela ocorrência de um sismo, quantificada pelo seu valor raro. A ação variável, correspondente à ondulação provocada pelo vento, é quantificada através do seu valor freqüente. Nesta combinação também é contabilizado o assentamento da barragem através do seu valor médio obtido para o perfil mais desfavorável.

**NNR + ondulação causada por um sismo + assentamento da barragem.**

- iii) **Combinação 3** - Nesta combinação tem-se em consideração a ocorrência de uma cheia de projeto com um período de retorno igual a 1 000 anos. Em simultâneo, prevê-se a ocorrência de um vento habitual e considera-se que já ocorreu a totalidade do assentamento previsível da barragem. Esta combinação é, como tal, caracterizada por uma variável base, maré e ondulação geradas por um vento caracterizado pelo seu valor freqüente. A ação permanente é, tal como nas restantes combinações, igual ao assentamento estimado para o perfil mais desfavorável

**NMC + ondulação causada por um vento habitual + maré gerada pelo vento + assentamento da barragem.**

De notar que em todas as combinações se contabiliza o assentamento da barragem, não obstante este ter sido também considerado na introdução da contraflecha. Efetivamente, na generalidade das normas existentes, é recomendada uma adequada sobrelevação do coroamento para compensar os assentamentos que os aterros sofrerão durante a vida da barragem, em consequência de colapsos, consolidação, fluência ou alteração brusca da estrutura do solo.

A possibilidade de escorregamento dos taludes do reservatório em resultado de fenômenos sísmicos e a consequente geração de ondas, bem como a ocorrência de assentamentos sísmicos da fundação, não são de prever no caso em análise, motivo pelo qual não foram contabilizados nos cálculos efetuados.

### **5.2.3 - Quantificação das ações**

#### **5.2.3.1 - Ventos de projeto**

Face à inexistência de dados sobre as características do vento no local e tendo em conta as características da barragem - dimensão e importância associada - optou-se por se considerar nos cálculos efetuados as seguintes velocidades dos ventos:

- valor raro da velocidade do vento ..... 160 km/h;
- valor freqüente da velocidade do vento.....80 km/h.

Na Fig. 5.2 apresenta-se a determinação do fetch máximo e do fetch efetivo do reservatório de Figueiredo.

Para determinar o valor dos ventos de projeto através da metodologia proposta pelo USBR é necessário conhecer a velocidade dos ventos com duração de 1 e 2 horas. Para tal, optou-se por recorrer às cartas de isolinhas dos Estados Unidos. A análise destas cartas permitiu verificar que a relação entre os ventos máximos e os ventos com 1 hora de duração varia para todo o território entre 0,65 e 0,75. Conservativamente, optou-se por um coeficiente superior, igual a 0,80. Relativamente aos ventos com duração igual a 2 h, adotou-se a relação indicada pelo USBR. Assim:

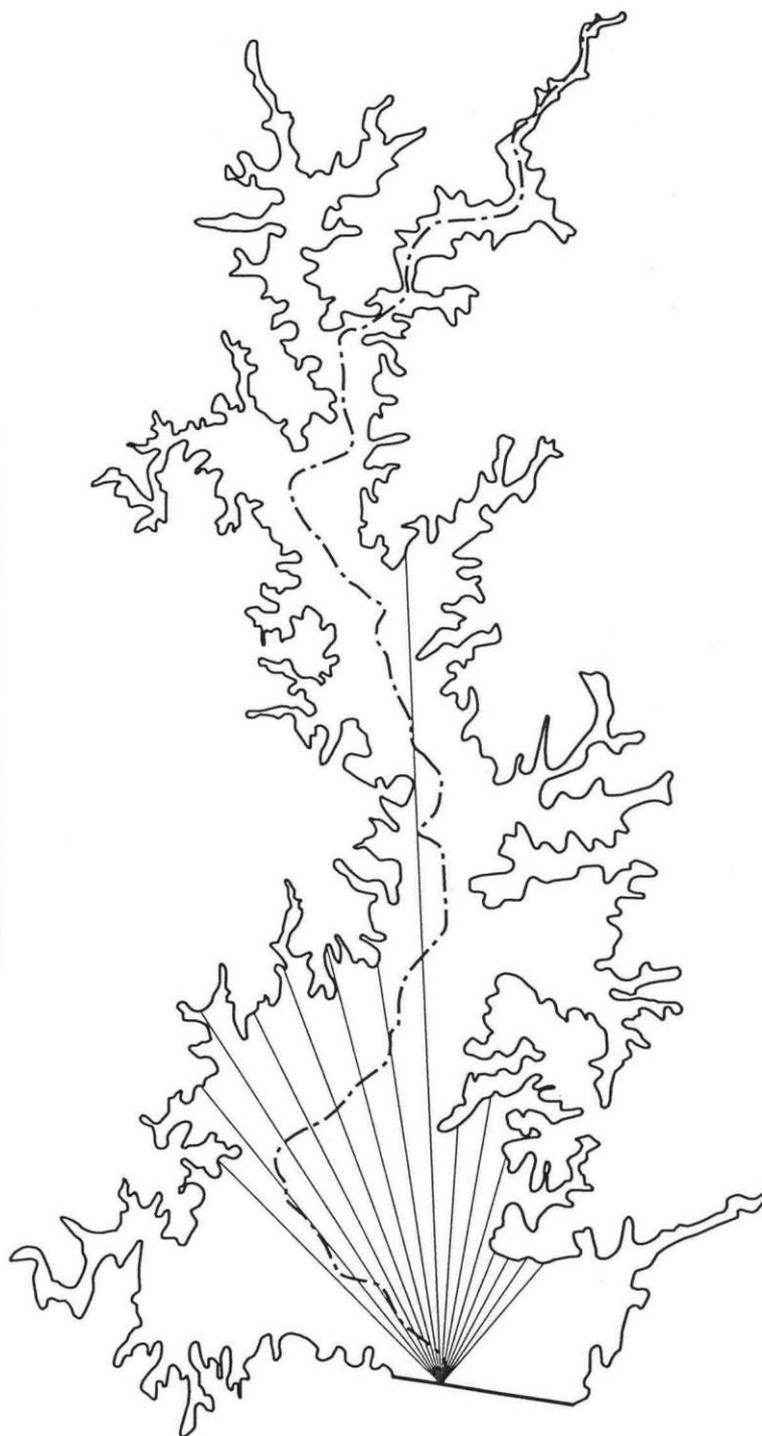
$$V_{1h} = 0,8 \times V_{m\acute{a}x}$$

$$V_{2h} = 0,96 \times V_{1h}$$

Relativamente à duração de atuação do vento máximo, optou-se por considerar um valor igual a 10 min.

Fetch (m)	Ângulo (°)	cos (ângulo)	Fcos <sup>2</sup> (ângulo)
4300	42	0.74	2374.7
5000	36	0.81	3272.5
5600	30	0.87	4200.0
5500	24	0.91	4590.1
6000	18	0.95	5427.1
5900	12	0.98	5645.0
6000	6	0.99	5934.4
11100	0	1.00	11100.0
3500	6	0.99	3461.8
4000	12	0.98	3827.1
3000	18	0.95	2713.5
1900	24	0.91	1585.7
1900	30	0.87	1425.0
2000	36	0.81	1309.0
2200	42	0.74	1215.0

$\Sigma =$         13.51        58080.9  
 Fetch efectivo =        4298.9 m  
 Fetch máximo =        11100.0 m



**Figura 5.2 - Determinação do Fetch Efetivo do Reservatório do Figueiredo**

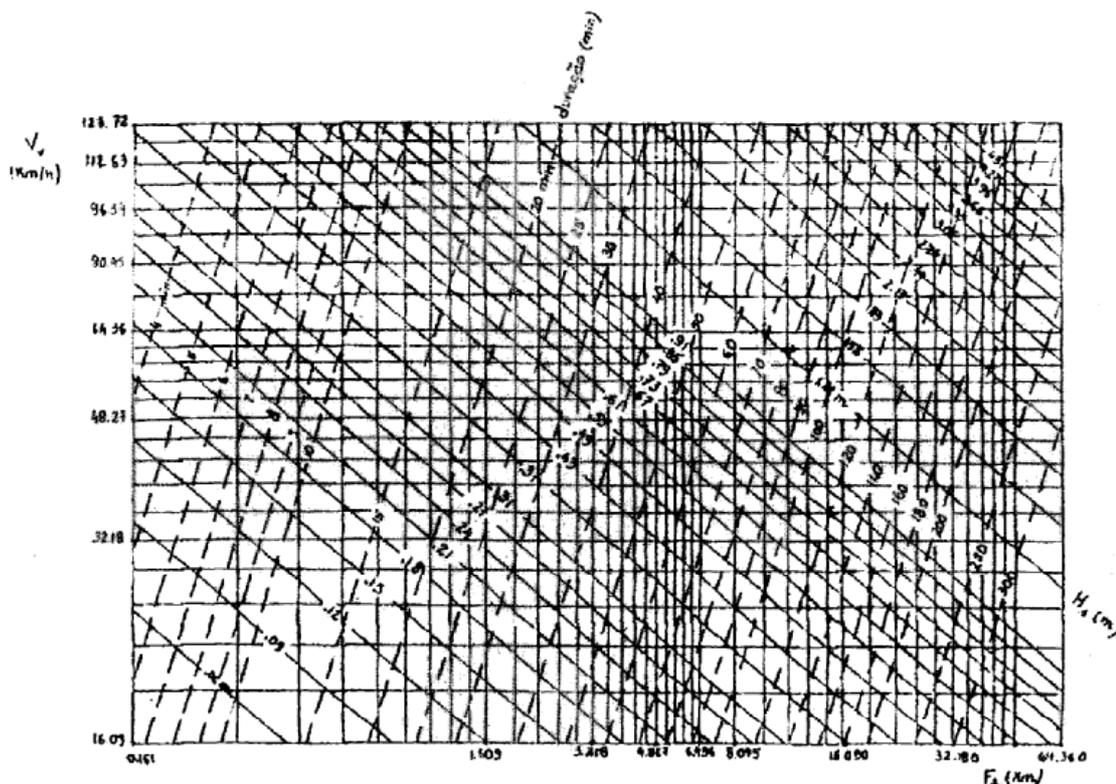
Aplicando as expressões anteriores ao valor raro e freqüente do vento obtêm-se os valores indicados no Quadro 5.4.

**Quadro 5.4 - Caracterização dos ventos para cálculo da folga**

Duração (min)	Velocidade do Vento (km/h)	
	Excepcional	Freqüente
10	160	80
60	128	64
120	123	61

A determinação da velocidade dos ventos que sopram sobre o reservatório, tendo em conta as características particulares deste, contabilizadas através do fetch máximo e efetivo, foi efetuada com base na Fig. 5.3 proposta pelo USBR. Os valores assim obtidos constam do Quadro 5.5.

**Fig. 5.3 - Altura Significativa das Ondas e Duração dos Ventos em Função do Fetch Efetivo e da Velocidade do Vento no Reservatório**



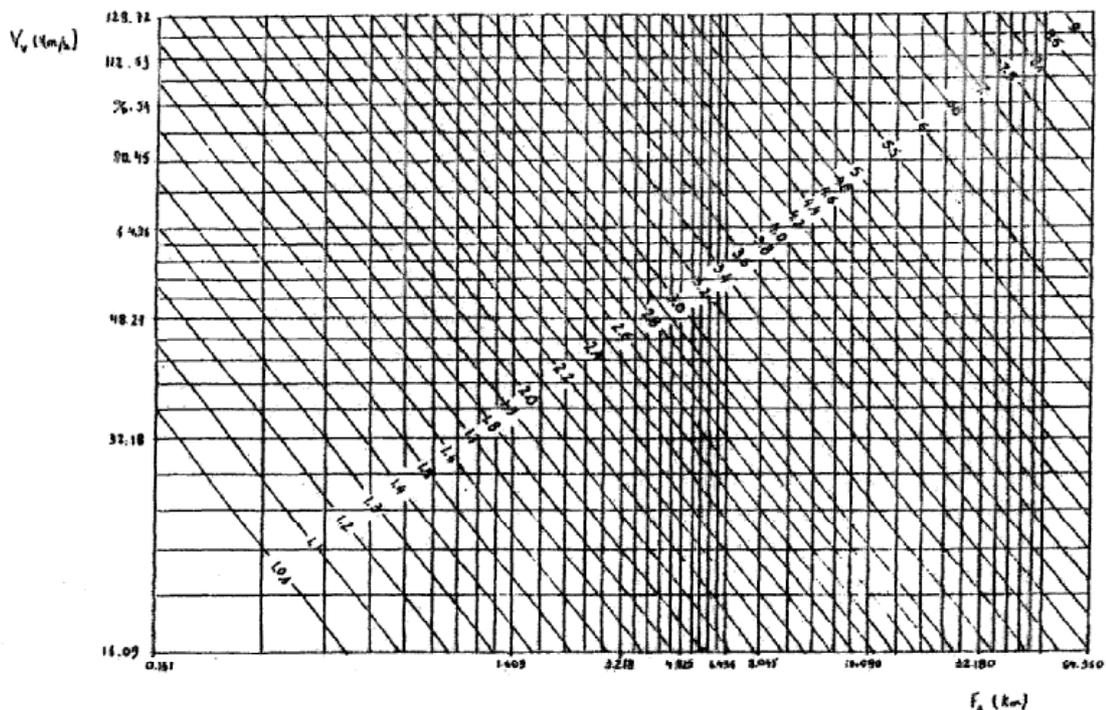
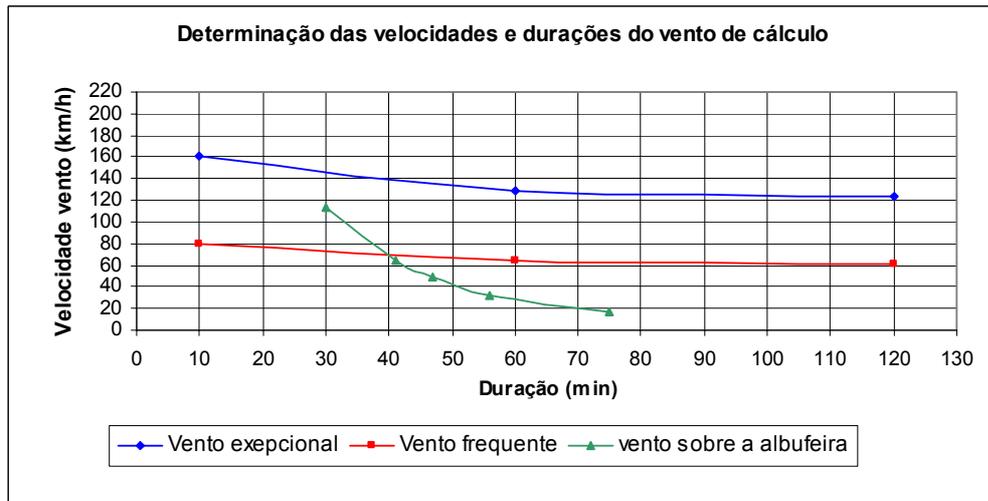
**Quadro 5.5 – Ventos sobre o reservatório do Figueiredo**

Duração (min.)	Velocidade do Vento (km/h)
75	16.09
56	32.18
47	48.27
41	64.36
30	112.63

A determinação dos ventos de projeto e respectivas durações foi efetuada com base nos valores dos Quadros 5.4 e 5.5, tal como representado na Fig. 5.4, tendo-se obtido os seguintes valores:

- vento excepcional -  $V_v = 152 \text{ km/h}$ ; duração = 20 min
- vento habitual -  $V_v = 70 \text{ km/h}$ ; duração = 40 min

**Fig. 5.4 - Determinação das velocidades e durações dos ventos de cálculo**



### Ondulação gerada pelo vento

Sendo conhecidas as velocidades dos ventos excepcional e habitual e sendo conhecido o fetch efetivo do reservatório, é possível retirar das Fig. 5.3 e 5.5 a altura significativa da onda -  $H_s$  - (onda com altura igual à altura do terço das ondas de maior altura) e o respectivo período. O desenvolvimento da onda foi determinado pela equação proposta pelo USBR que é válida para reservatórios com profundidade média da zona radial a montante da barragem superior a metade do desenvolvimento da onda.

$$L = 1,56 T^2 \text{ (m)} \quad (\text{em que } T = \text{período da onda em s})$$

No Quadro 5.6 indicam-se as características das ondas para os ventos de projeto.

**Quadro 5.6 - Caracterização das ondas de projeto**

Vento	Velocidade do Vento (km)	Altura Significativa ( $H_s$ ) (m)	Período (s)	Desenvolvimento (m)
Excepcional	152	2,13	4,8	36
Habitual	70	0,95	3,4	18

### Espraiamento da ondulação gerada pelo vento

A altura das ondas de projeto ( $H_p$ ), adotada nos cálculos seguintes é igual a:

- vento habitual -  $H_p = H_s$
- vento excepcional -  $H_p = 1,27 H_s$

De acordo com o USBR o espraiamento pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$R_s = \frac{H_p}{0,4 + (H_p/L)^{0,5} \times \cotg\theta} \times \cos \alpha \text{ (m)}$$

em que:

- L - desenvolvimento da onda (m);
- $\theta$  - ângulo do talude com a horizontal ( $^\circ$ );
- $\alpha$  - ângulo que o fetch máximo faz com a perpendicular ao desenvolvimento do coroamento ( $^\circ$ );
- $H_p$  - altura da onda de projeto (m).

Conservativamente, considerou-se que o fetch máximo é coincidente com a perpendicular ao desenvolvimento do coroamento ( $\alpha = 0$ ).

No Quadro 5.7 representam-se os resultados obtidos através da aplicação da formulação descrita.

**Quadro 5.7 - Espraimento da Ondulação Devida ao Vento**

Vento	Hs (m)	Hp (m)	L (m)	$\theta$ (°)	Espraimento (m)
Excepcional	2,13	2,70	36	33,69	3,33
Habitual	0,95	0,95	18	33,69	1,28

A metodologia proposta pelo USBR é conservativa para o perfil tipo em causa. Efetivamente, a equação utilizada representa a magnitude do espraimento numa barragem homogênea protegida a montante por rip-rap, magnitude esta superior àquela que se obteria para uma barragem de enrocamento.

#### Maré gerada pelo vento

Segundo o USBR a sobreelevação do nível da água devida aos ventos de projeto pode ser obtida mediante a utilização da expressão seguinte:

$$R_m = \frac{V^2 \times F_{\max}}{62770D}$$

em que:

V - velocidade do vento em km/h;

F<sub>máx</sub> - fetch máximo em km;

D - profundidade média da zona radial a montante da barragem.

No Quadro 5.8 indicam-se os valores obtidos.

**Quadro 5.8 - Maré Gerada pelo Vento**

Vento	Altura da Maré (m)
Excepcional	0,15
Habitual	0,03

#### **5.2.3.2 - Sismo de projeto**

Os valores de projeto da ação sísmica considerada são os que se resumem no Quadro 5.9.

**Quadro 5.9 – Valores de projeto da ação sísmica**

amáx. (g)	T (s)
0.1	0.5

### Ondulação gerada pelo sismo

A altura máxima da onda gerada por um fenómeno sísmico pode ser obtida, de forma simplificada, através da formulação proposta na Regulamentação Espanhola:

$$h = \frac{K_h \times T \times \sqrt{gH}}{2}$$

em que:

- $K_h$  - coeficiente sísmico;
- $T$  - período do sismo (s);
- $g$  - aceleração da gravidade ( $m/s^2$ );
- $H$  - altura máxima de água a montante.

A aplicação da fórmula anterior a esta situação traduz-se por uma onda com 0,4 m de altura.

#### **5.2.3.4 - Assentamento da barragem**

No cálculo da folga da barragem considerou-se, conservativamente, para o assentamento a longo prazo da barragem, um valor igual a cerca de 1% da sua altura máxima (0,40 m).

#### **5.2.4 - Definição da cota do coroamento**

No Quadro 5.10 representam-se os valores calculados pelas combinações de ações descritas e as cotas de coroamento mínimas resultantes.

**Quadro 5.10 - Definição do coroamento**

Combinação de ações	Nível de água no reservatório (m)	Espraiamento da ondulação devida ao vento (m)	Maré gerada pelo vento (m)	Ondulação devida ao sismo (m)	Assentamento (m)	Cota mínima do coroamento (m)
1	99,0	3,33	0,15	-	0,40	102,9
2	99,0	-	0,15	0,4	0,40	100,0
3	101,3	1,28	0,03	-	0,40	103,0

O maior valor obtido para a cota máxima do coroamento – (103,0) - corresponde à combinação de ações 3. Por razões de segurança e para atender a ações não quantificáveis fixou-se o nível do coroamento à cota (103,5).

O nível de água no reservatório para a cheia decamilenária será (101,82), pelo que se dispõe ainda de uma folga significativa para o coroamento.

## **5.3 - CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS MATERIAIS DA BARRAGEM**

### **5.3.1 - Considerações iniciais**

A caracterização geotécnica dos materiais que constituem o corpo da barragem - núcleo, maciços estabilizadores, filtros, drenos e enrocamentos de proteção - foi realizada com base nos resultados das campanhas geológico-geotécnicas efetuadas até à data.

As campanhas incluíram a realização de ensaios de identificação, resistência mecânica, permeabilidade e de caracterização geotécnica complementar em laboratório, cujos resultados detalhados se apresentam no Capítulo 4.

Na Fig. 5.6 representam-se os fusos granulométricos dos materiais que integram a barragem.

### **5.3.2 - Materiais do núcleo (1)**

Os materiais do núcleo são essencialmente constituídos por solos finos resultantes da meteorização dos gnaisses, tendo sido identificadas três prováveis jazidas, uma a cerca de 2,8 km a montante da margem esquerda da barragem, no interior do reservatório (jazida nº1), outra a 6 km de distância em linha reta da barragem, a montante da obra, junto à estrada de Alto Santo – Iracema (jazida nº2) e a terceira junto à margem direita da obra (jazida nº 3), a cerca de 2,5 km da barragem, também no interior do reservatório.

Sobre amostras recolhidas nas três jazidas foram realizados ensaios de identificação – granulométricos por peneiramento e sedimentação e limites de Atterberg – de compactação – Proctor Normal –, ensaios de compressão triaxial e ensaios de determinação da permeabilidade com permeâmetro de carga variável.

Estes materiais são na sua generalidade classificados como SC (areias argilosas) ou CL (argilas magras), apresentando uma matriz arenosa de interstícios preenchidos por finos argilosos e/ou siltosos.

Tratam-se de materiais na sua grande generalidade com percentagens de finos compreendidas entre 20 e 59%, limites de liquidez (LL) entre 19 e 35% e índices de plasticidade (IP) entre 6 e 14%. No Quadro 5.11 indicam-se os valores de identificação dos materiais amostrados em cada jazida e os valores assumidos no fuso especificado para a barragem. Nas Fig. 5.7 a 5.9 apresentam-se as curvas granulométricas dos materiais em causa e a sua inserção no fuso granulométrico.

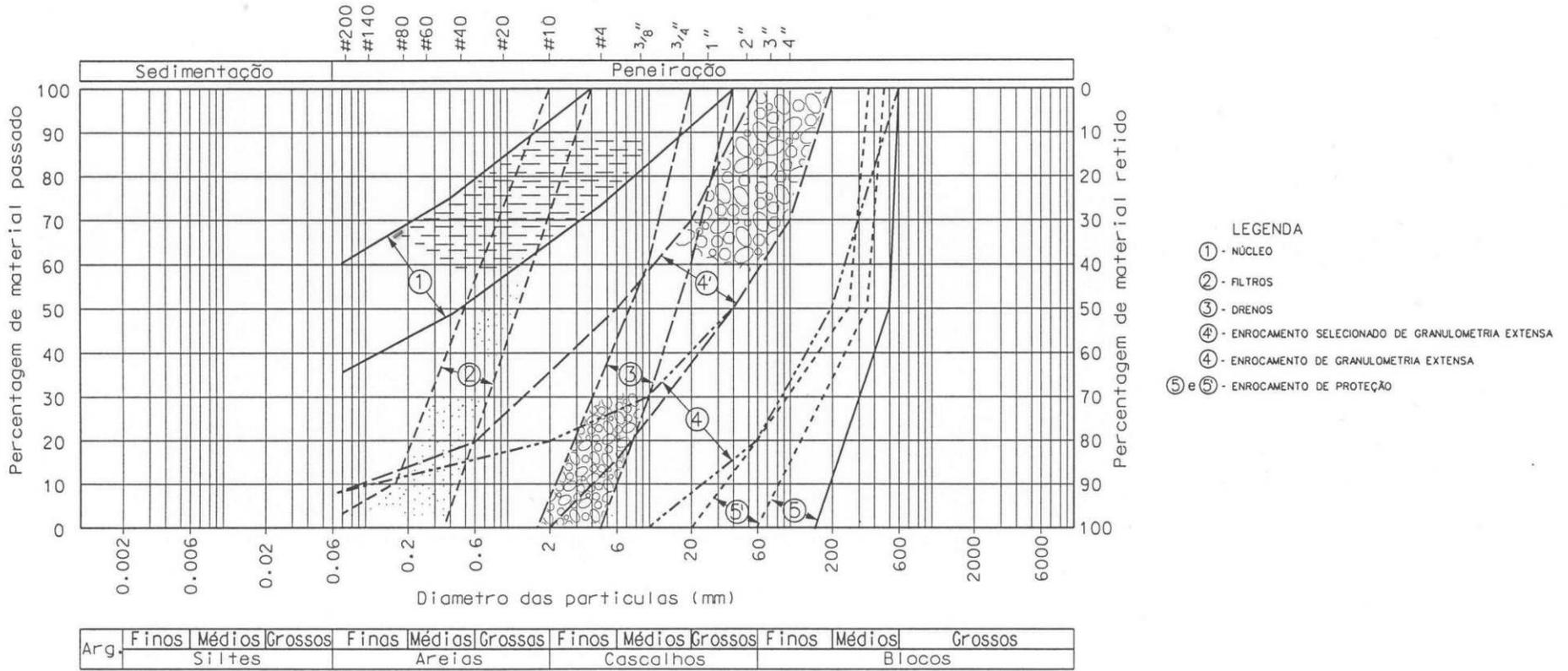
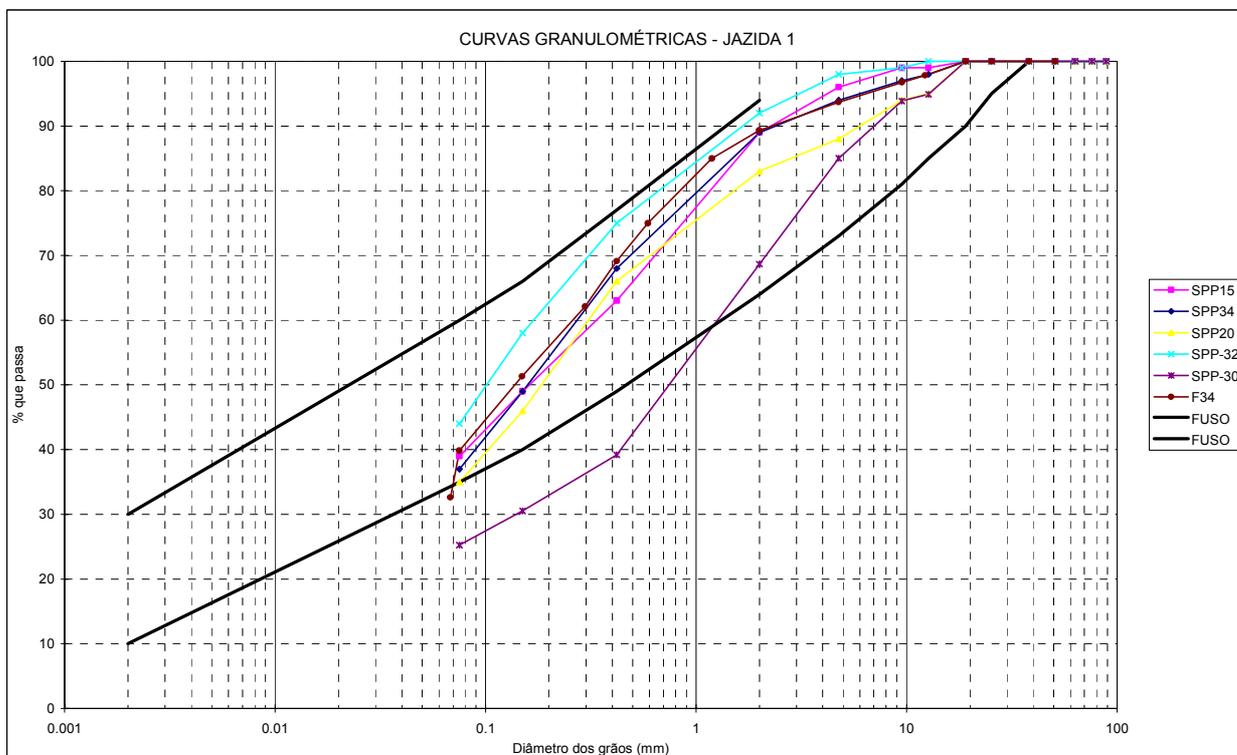
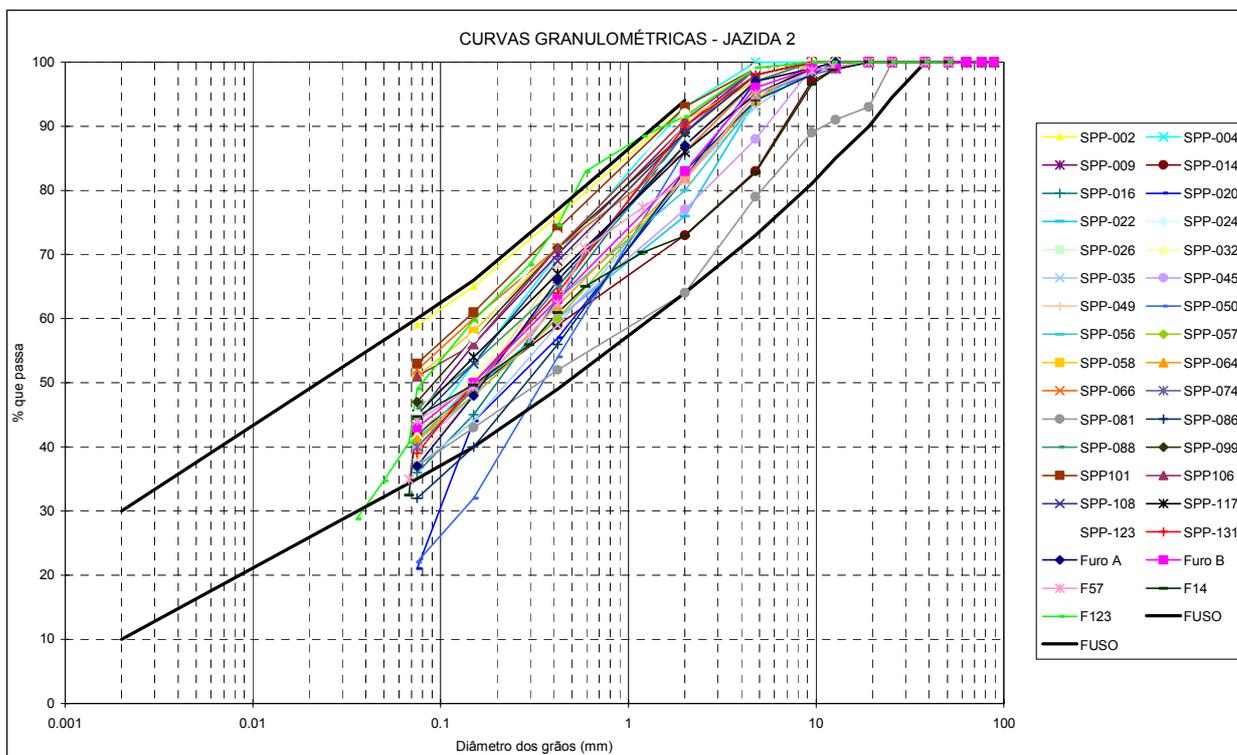


Figura 5.6 - Fusos Granulométricos

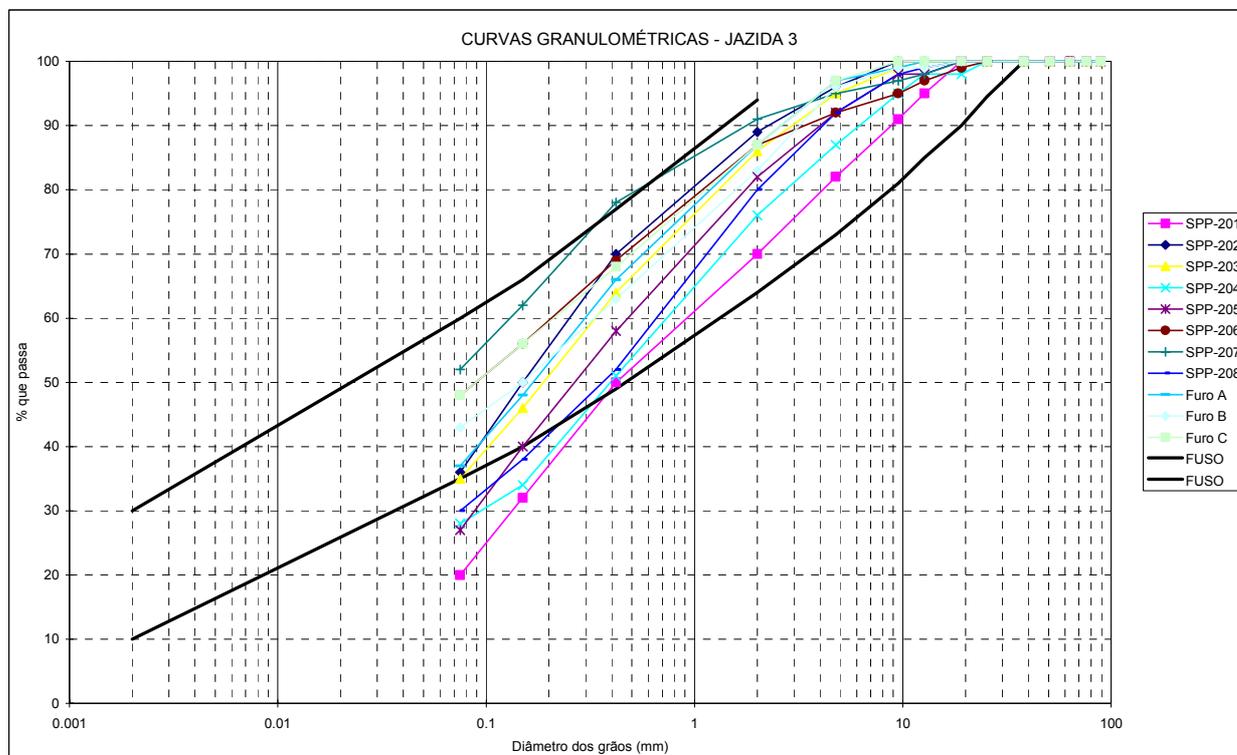
**Fig. 5.7 – Granulometrias dos materiais da jazida 1**



**Fig. 5.8 – Granulometrias dos materiais da jazida 2**



**Fig. 5.9 – Granulometrias dos materiais da jazida 3**



**Quadro 5.11 - Caracterização Granulométrica e Limites de Atterberg. Materiais do Núcleo**

		% de Finos Passada #200	Percentagem Passada #40	Percentagem Retida no #4	D <sub>máx</sub> (Mm)	Índice de Plasticidade
Especificado		35 – 60	48 – 75	0 - 27	3 – 40	8% – 15%
Amostrado	J1	25 – 44	39 – 75	2 – 12	15	8% - 10%
	J2	21 - 59	52 – 76	0 - 21	4 – 25	6% - 14%
	J3	20 - 52	51 – 78	3 - 18	10 - 25	NP - 12%

Da análise do Quadro 5.11 e das Fig. 5.7 a 5.9, constata-se que os materiais das jazidas 1 e 2 apresentam-se relativamente homogêneos com percentagens de finos média da ordem de 35% a 45% e índices de plasticidade de 10%. Em geral, aos materiais mais grosseiros correspondem índices de plasticidade mais reduzidos, como é o caso da amostra do furo SPP30 da jazida 1 com 25% de finos e IP de 8% e também da amostra recolhida no furo SPP50 da jazida 2 caracterizada por uma percentagem de finos de 22% e um IP de 6%.

Relativamente à jazida 3, constata-se que, na sua generalidade, os materiais são mais grosseiros e menos plásticos, apresentando mesmo plasticidade nula em pelo menos duas amostras com percentagens de finos de 20 e 27%. Face aos resultados desta jazida, em termos granulométricos e de identificação, prevê-se, em princípio, a sua exploração apenas como recurso alternativo, devendo prioritariamente ser utilizadas as jazidas 2 e 1.

Como complemento aos ensaios de identificação por peneiramento foram realizados ensaios de sedimentação com a finalidade de determinar a percentagem de argila dos materiais em estudo. A importância destes ensaios prende-se com a marcada influência da fração fina dos solos e, em particular, da argilosa, no seu comportamento. No Quadro 5.12 indicam-se os resultados obtidos para as amostras ensaiadas provenientes das jazidas 1 e 2.

**Quadro 5.12 - Resultados dos Ensaios de Sedimentação dos Materiais das Jazidas 1 e 2**

Jazida	Furo	Classificação	Ip (%)	% de Silte (<0.06 mm)	% de Argila (< 0.002 mm)
J1	SPP 34	SC	10	30	9
J2	SPP 14	SC	11	29	9
	SPP 57	SC	9	32	10
	SPP 123	SC	11	38	12

SC - Areias argilosas

Da análise do Quadro 5.12 constata-se que a percentagem de argila é reduzida em todas as amostras ensaiadas, independentemente da formação interessada, não ultrapassando os 12%, o que está de acordo com os valores de índice de plasticidade obtidos nos ensaios efetuados sobre aquelas amostras, da ordem de 9 a 11%.

Foram ainda submetidas a ensaios de granulometria por sedimentação quatro amostras provenientes da camada superficial de material aluvionar no leito de cheias da ribeira, constituída por solos silto-argilosos, e cujos resultados se apresentam no Quadro 5.13 e na Fig. 5.10. Os ensaios efetuados visaram determinar a aptidão destes materiais para o núcleo.

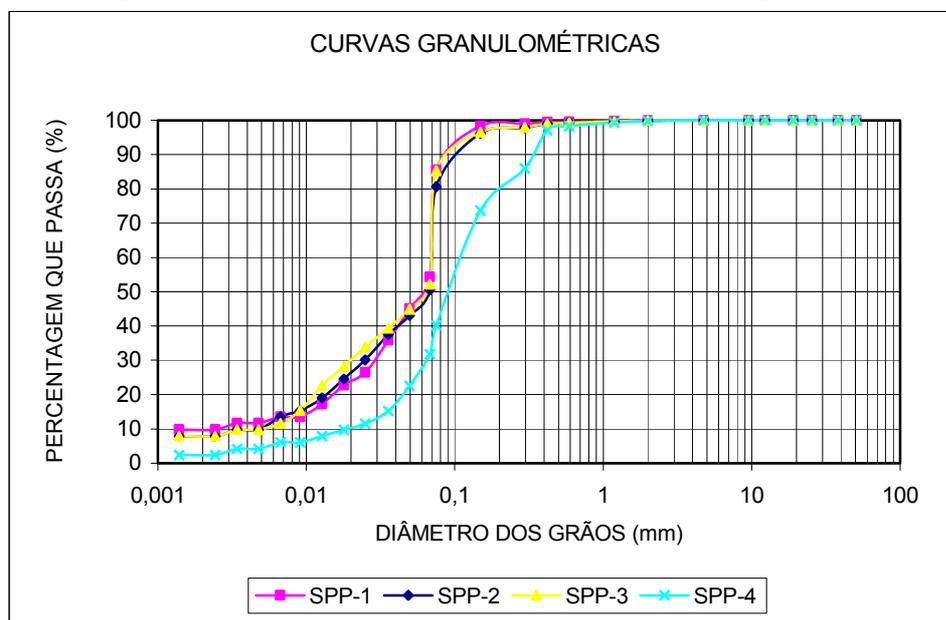
**Quadro 5.13 - Resultados dos Ensaios Granulométricos dos Materiais Silto-Argilosos do Leito de Cheias do Rio**

Amostra	Classificação	Ip (%)	% De Finos Passada No #200	% De Argila (< 0.002 mm)	% Retida No #4	D <sub>máx</sub> (mm)
SPP1	SM – SC	7	85	10	0	1
SPP2	SM – SC	6	81	8	0	1
SPP3	SM – SC	6	85	8	0	1
SPP4	SM	NP	40	2	0	1

Da análise do Quadro 5.13 e observação da Fig. 5.10 constata-se que tratam-se de materiais com uma granulometria muito uniforme, com elevada percentagem de siltes e finos de reduzida plasticidade em conformidade com a reduzida percentagem de argila. As características granulométricas destes materiais indiciam uma fiabilidade reduzida em termos de erosão interna e resistência mecânica medíocre, não se considerando como tal adequados para o núcleo.

Relativamente aos ensaios de compactação, apresenta-se no Quadro 5.14 o resumo dos resultados dos ensaios efetuados sobre amostras recolhidas nas três jazidas.

**Fig.5.10 – Curvas granulométricas dos materiais aluvionares silto-argilosos do leito de cheias**



Os ensaios de compactação Proctor Normal efetuados sobre algumas amostras selecionadas conduziram a valores de peso específico seco compreendido entre 17,7 e 18,9 kN/m<sup>3</sup>, com um valor médio de 18,4 kN/m<sup>3</sup> e valores de teor em água ótimo compreendido entre 12,5 e 16,8%, com um valor médio de 14%.

**Quadro 5.14 - Resultados dos ensaios de compactação Proctor Normal**

Jazida	Furo	Formações Interessadas	$\gamma_D$ Máx [Kn/M <sup>3</sup> ]	Wopt [%]
J1	SPP 32	SC	17,7	14,3
	SPP 34	SC	18,2	12,6
J2	SPP 04	SC	18,9	13,4
	SPP 14	SC	18,0	16,5
	SPP 16	SC	18,9	12,5
	SPP24	SC	18,1	16,8
	SPP 35	SC	18,7	14,5
	SPP 45	SC	18,2	13,5
	SPP 57	SC	18,9	13,8
	SPP 64	SM	18,2	13,4
	SPP 99	SC	18,9	14,2
	SPP 117	SC	18,8	14,1
	SPP 123	SC	18,2	14,6
J3	SPP 131	SC	18,3	13,1
	SPP 201	GC	18,7	9,0
	SPP 201	SC	17,8	14,4
	SPP 206	SC	17,4	18,0
	SPP 207	CL	17,3	16,0

Na análise dos resultados anteriores deverá ter-se em conta que o material de aterro será constituído por partículas de dimensões superiores à do material amostrado, o que irá traduzir-se por um peso específico mais elevado e um teor em água ótimo mais reduzido.

A gama de valores registados para os parâmetros  $\gamma_d \text{ máx}$  e  $W_{\text{opt}}$ , no caso das jazidas 1 e 2, indiciam boas características de consistência, de compactação e de colocação dos materiais finos em obra, estando situada dentro dos limites físicos de caracterização normalmente observados em numerosas barragens de aterro para formações de idêntica natureza geológica e geotécnica. Acresce que é bem patente a homogeneidade dos solos das jazidas 1 e 2, o que facilita a sua exploração e posterior colocação no aterro.

Relativamente à jazida 3, observa-se uma maior heterogeneidade dos valores do teor em água ótimo, aparentemente em concordância com a maior ou menor percentagem de finos e respectiva plasticidade dos materiais ensaiados. Com efeito, à amostra SPP201 caracterizada como material não plástico, corresponde um  $W_{\text{opt}}$  de 9%. Ao contrário, à amostra do SPP206, com 48% de finos e IP de 11% corresponde um teor em água ótimo de 18%.

A determinação da resistência ao corte dos materiais foi efetuada através de ensaios triaxiais consolidados não drenados com medição de pressões neutras sobre provetes moldados a partir de uma amostra da jazida 1 (furo SPP34), de três amostras da jazida 2 (furos SPP14, SPP57 e SPP123) e de duas amostras da jazida 3 (furos SPP202 e SPP207).

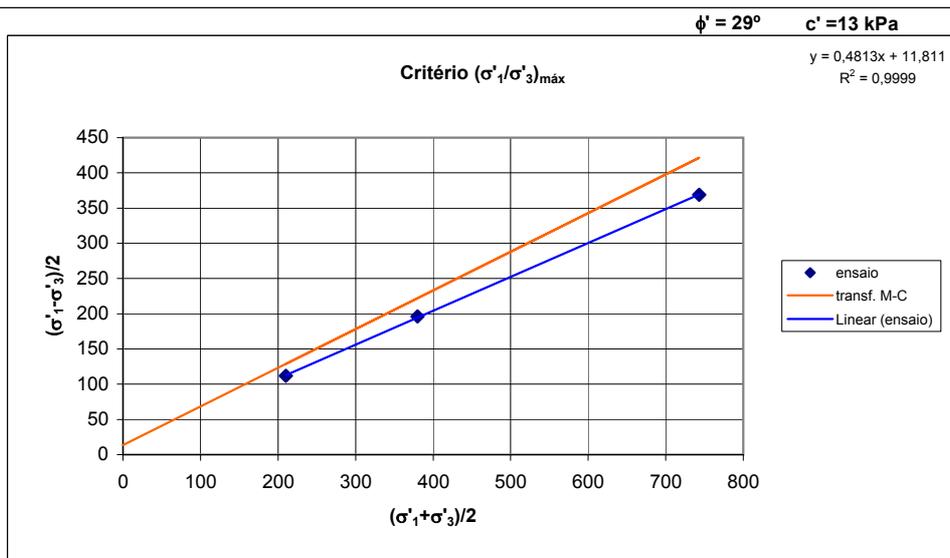
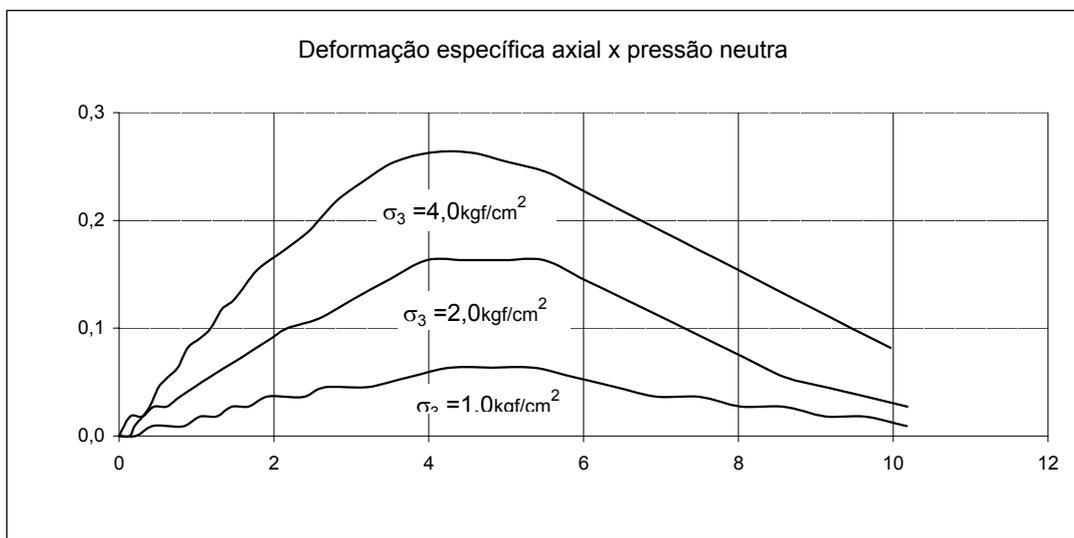
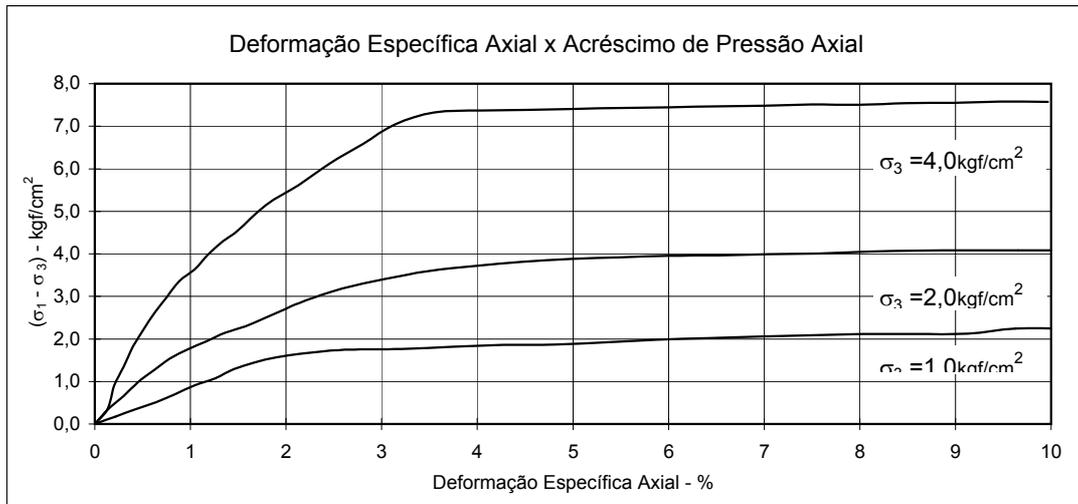
Nos Quadros 5.15 e 5.16 e nas Fig. 5.11 a 5.14 apresentam-se os resultados obtidos para as amostras ensaiadas.

**Quadro 5.15 - Parâmetros de Resistência ao Corte dos Materiais do Núcleo**

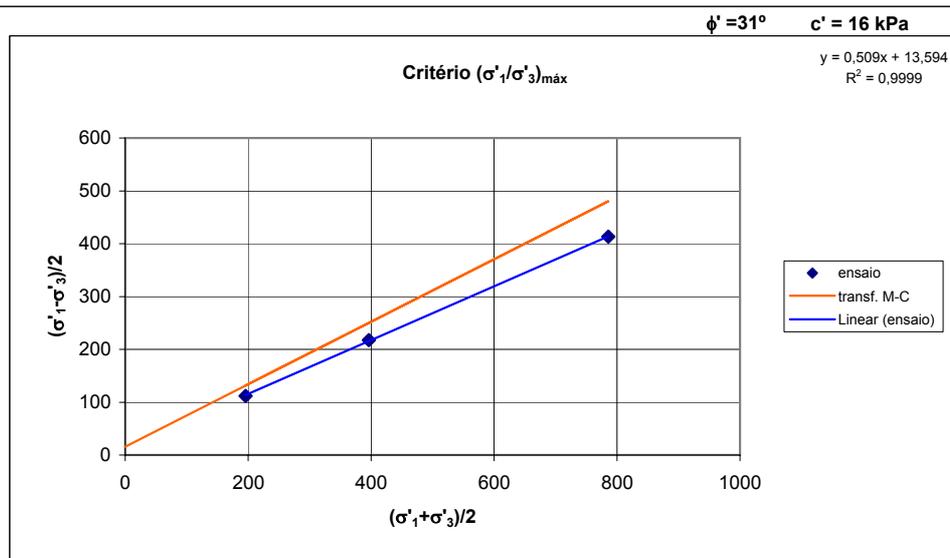
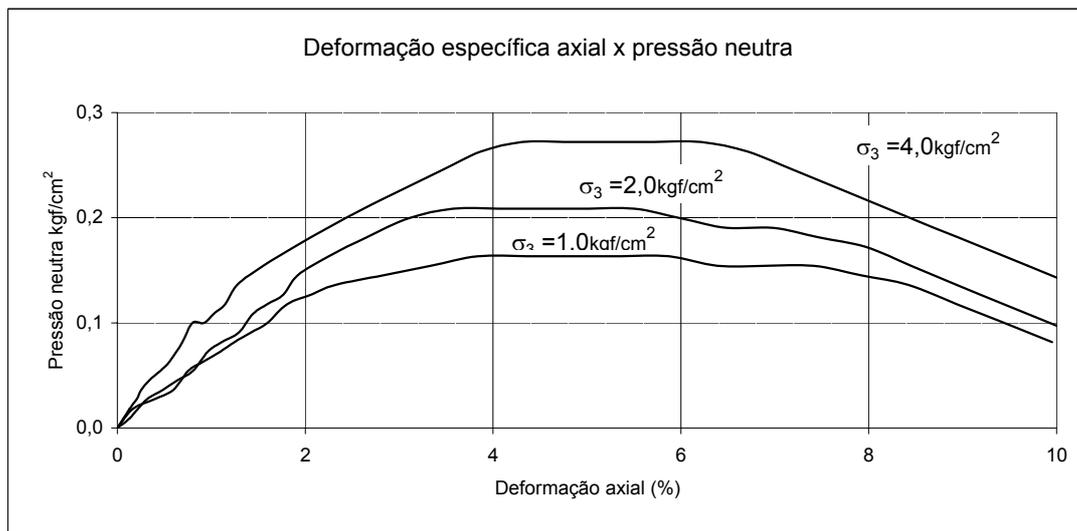
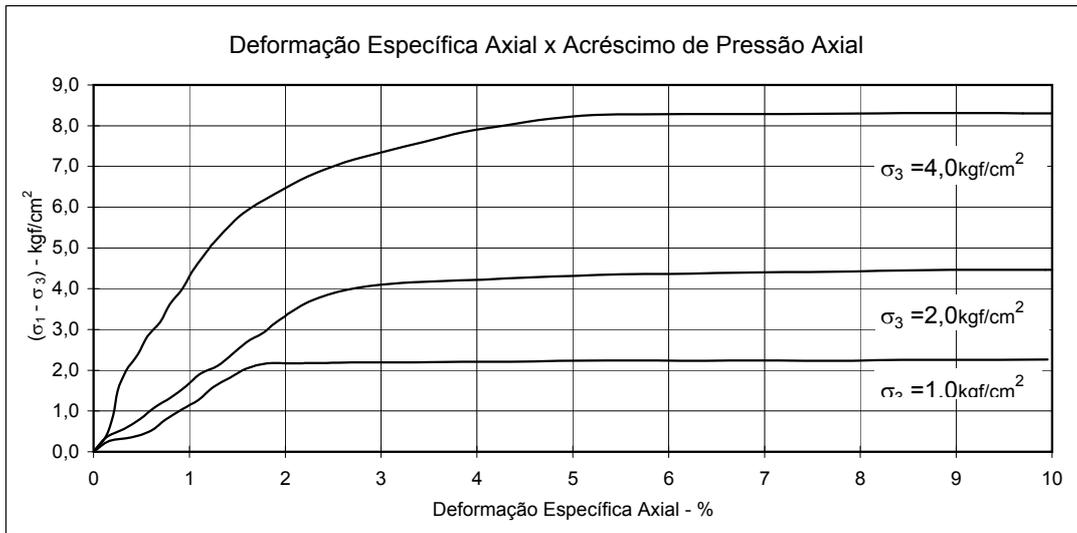
Jazida	Furo	Ip (%)	% de Material Passado no Peneiro #200	Classificação	C' (Kpa)	$\phi'$ (°)
J1	34	10	37	SC	13	29
J2	14	11	42	SC	16	31
J2	57	9	41	SC	13	25
J2	123	11	45	SC	22	26
J3	202	5	36	SM-SC	12	27
J3	207	12	52	CL	14	24

**Quadro 5.16 – Módulos de Deformabilidade de Materiais do Núcleo**

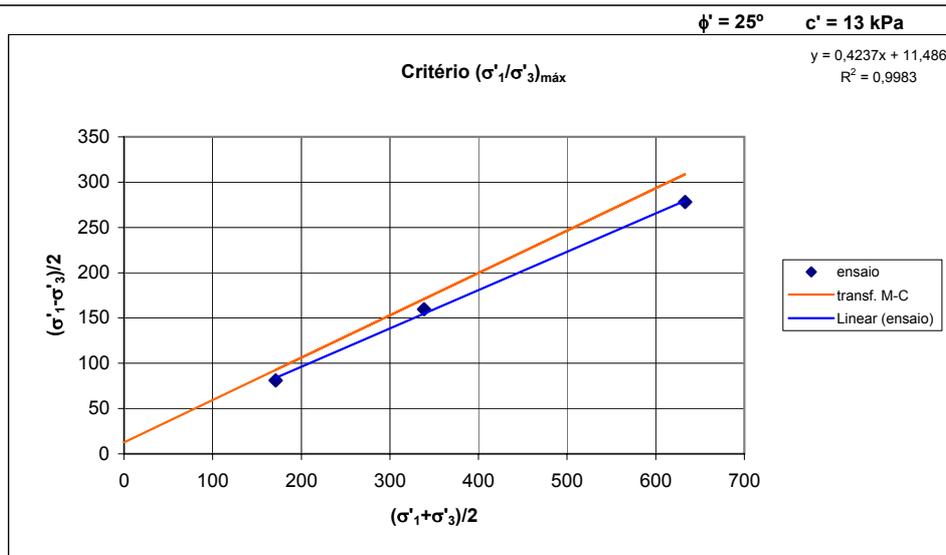
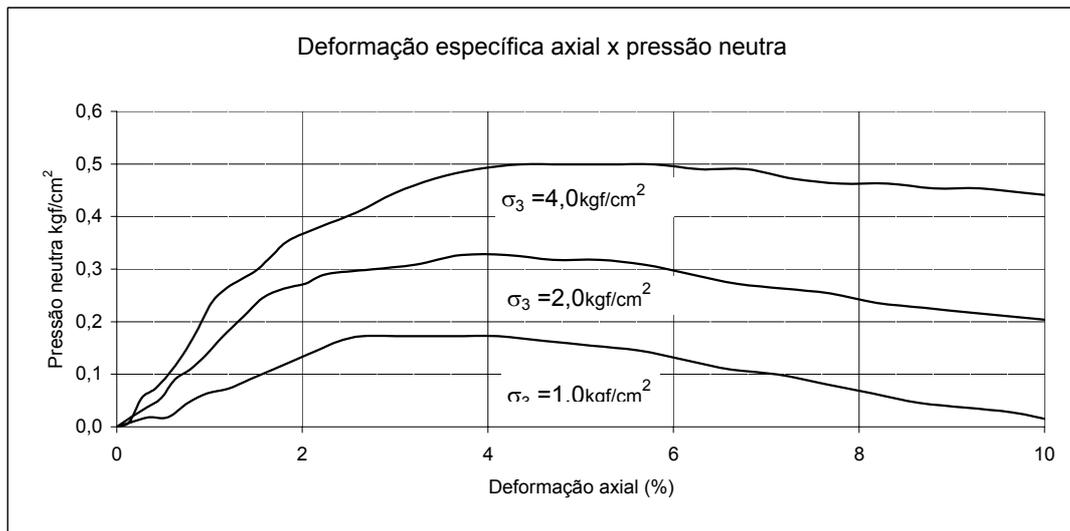
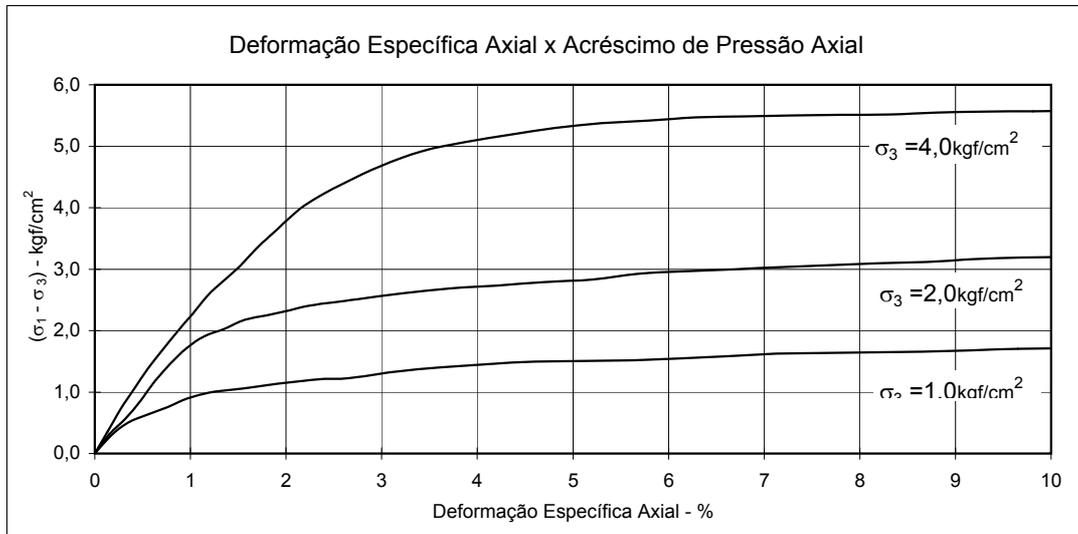
Jazida	Furo	Módulo de deformabilidade (kN/m <sup>2</sup> )		
		Tensão de consolidação (kPa)		
		100	200	400
J1	34	8 700	13 600	28 700
J2	14	11 600	16 500	30 200
J2	57	5 400	13 900	18 400
J2	123	10 300	14 400	18 500
J3	202	8 500	15 800	23 700
J3	207	5 800	15 700	19 800



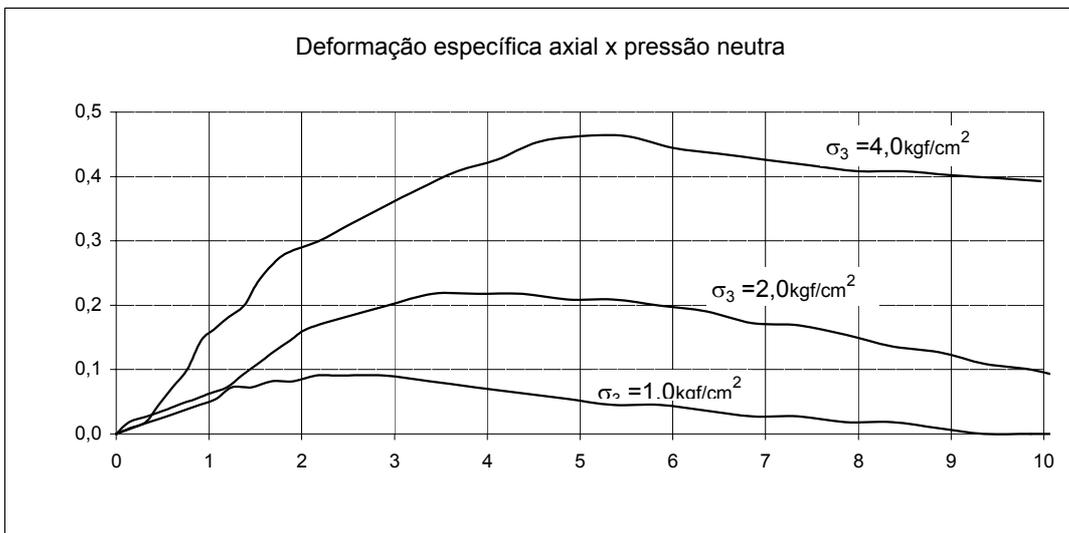
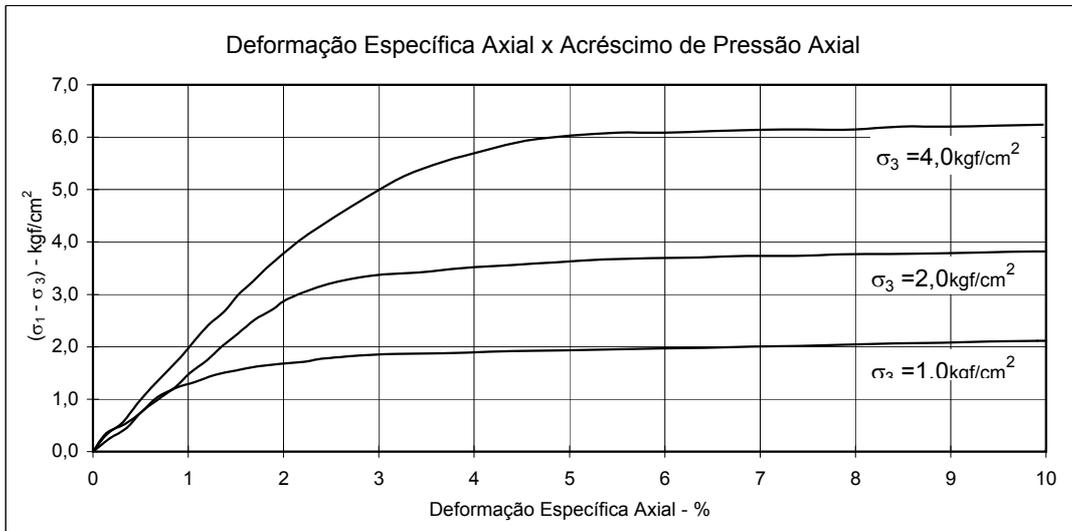
**Fig. 5.11 - Ensaio triaxial. Jazida 1. Amostra do furo 34**



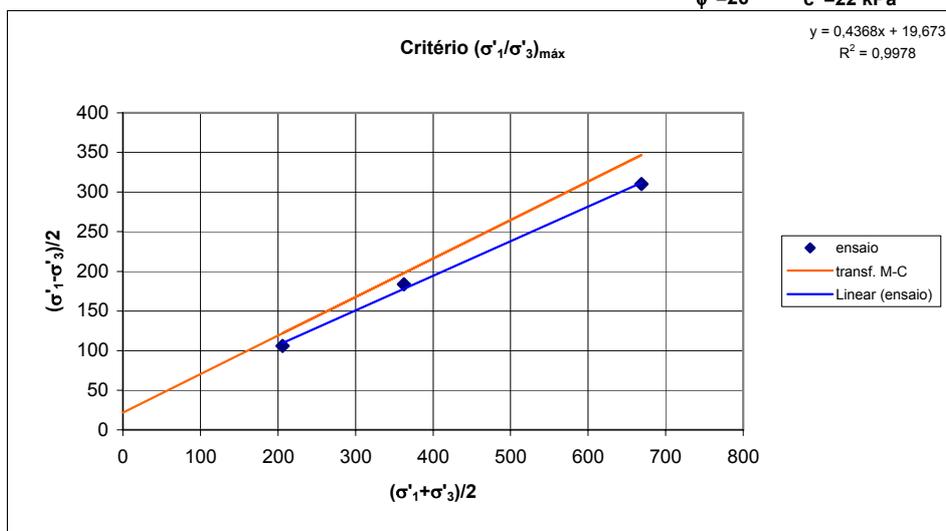
**Fig. 5.12 - Ensaio triaxial. Jazida 2. Amostra do furo 14**



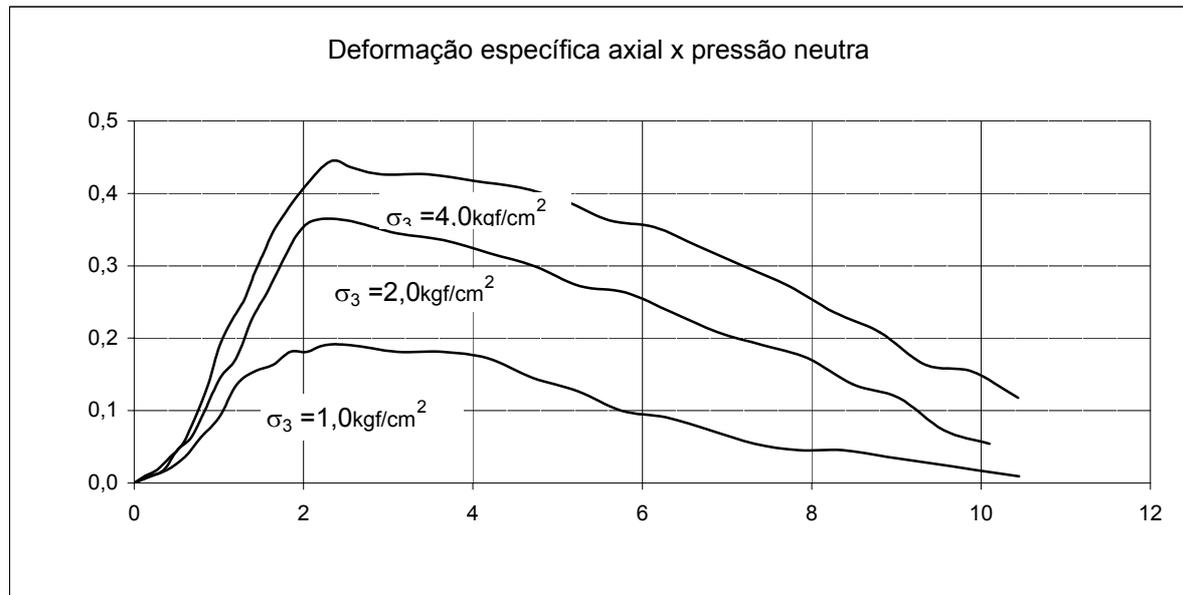
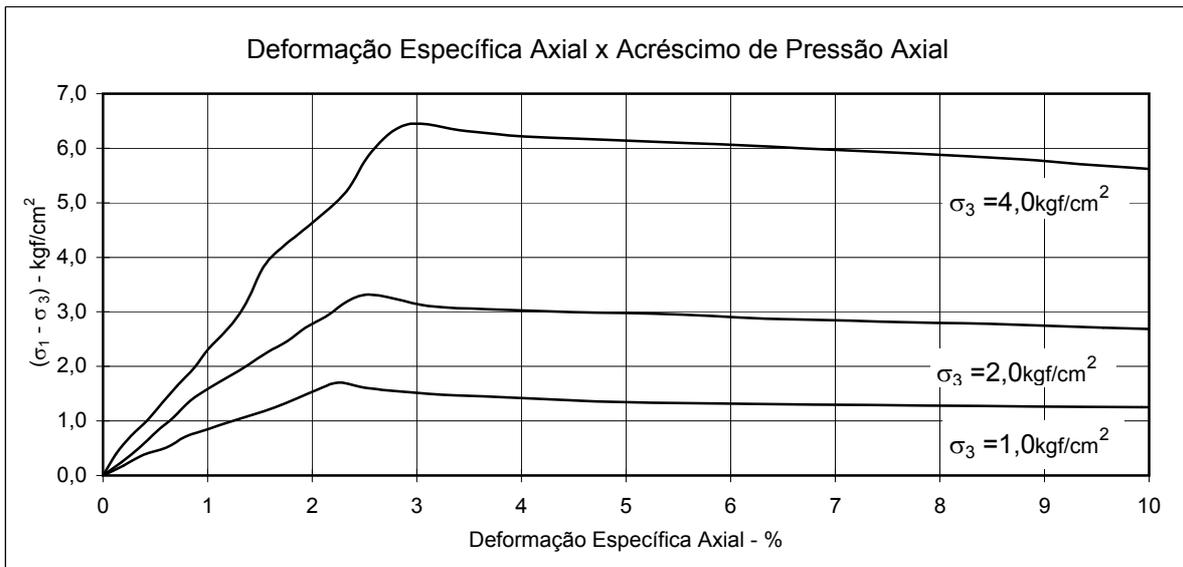
**Fig. 5.13 a) - Ensaio triaxial. Jazida 2. Amostra do furo 57**



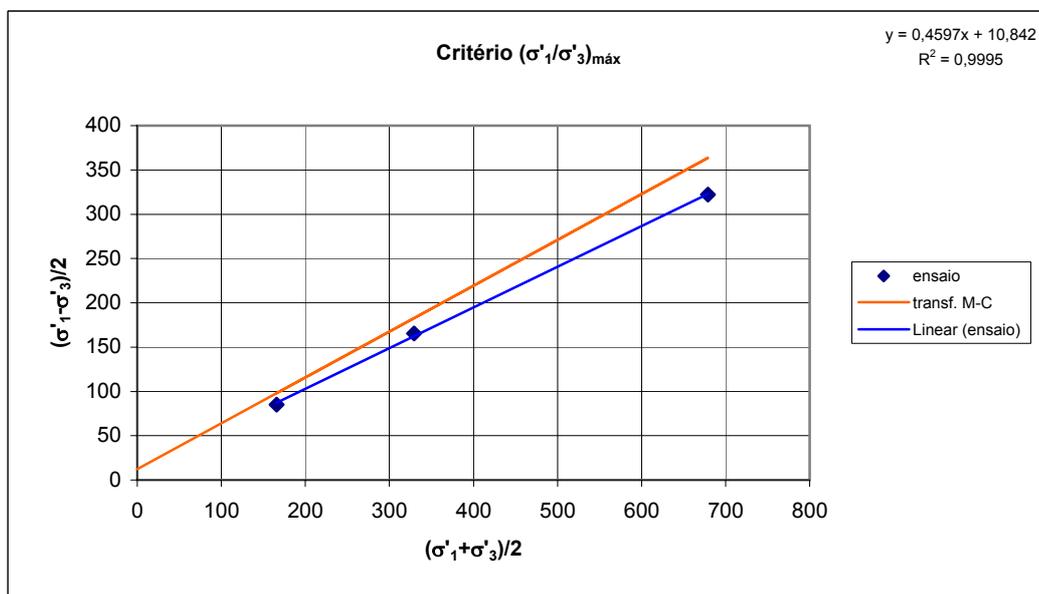
$\phi' = 26^\circ$      $c' = 22 \text{ kPa}$



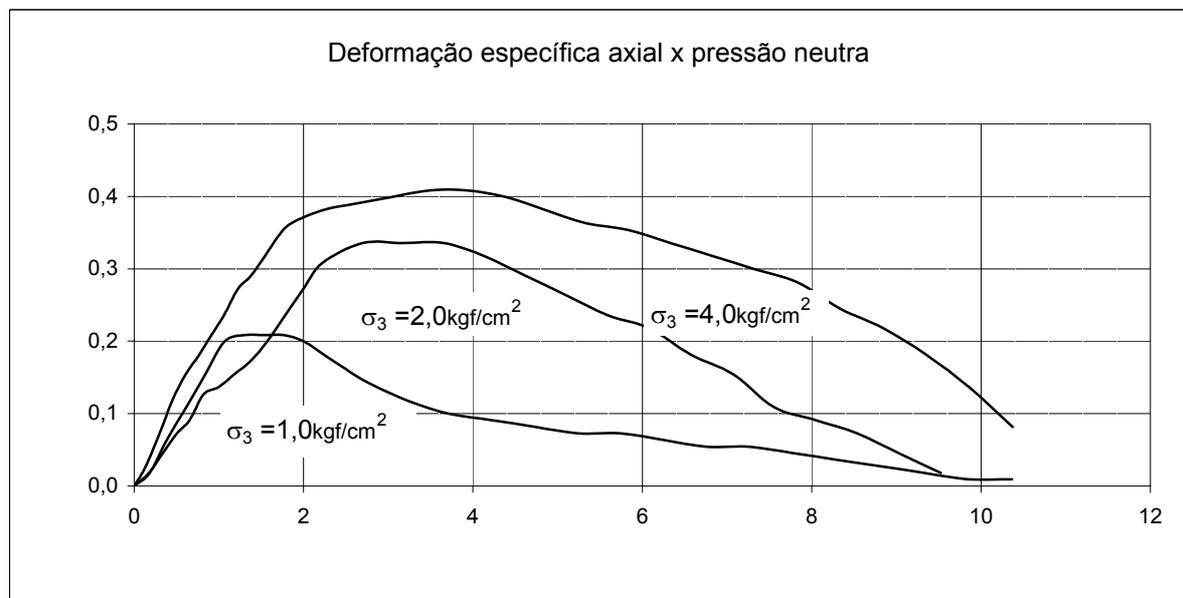
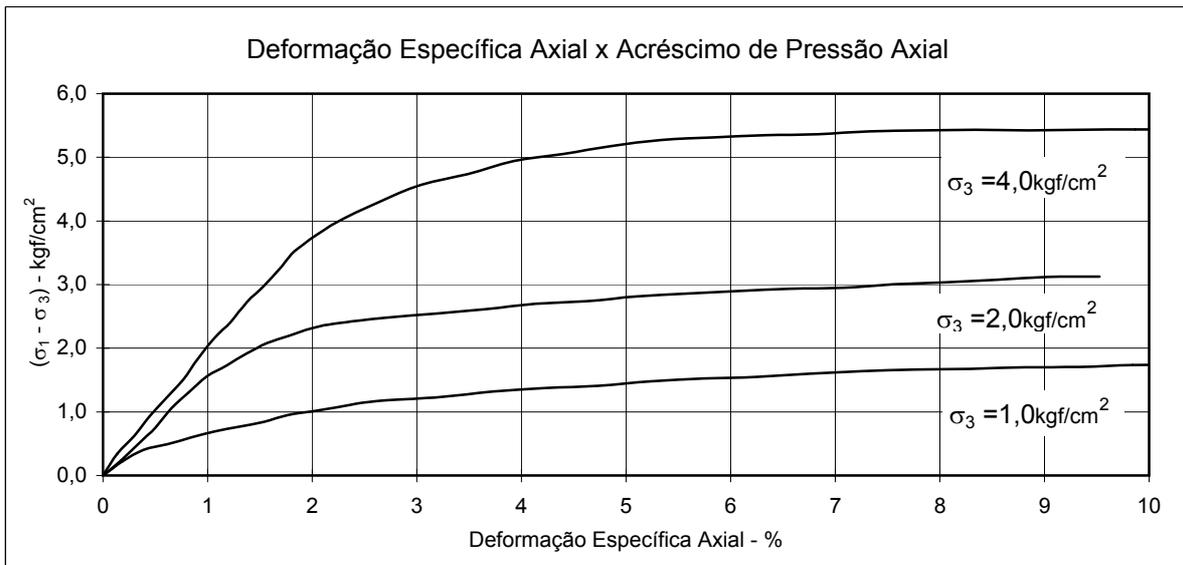
**Fig. 5.13 b) - Ensaio triaxial. Jazida 2. Amostra do furo 123**



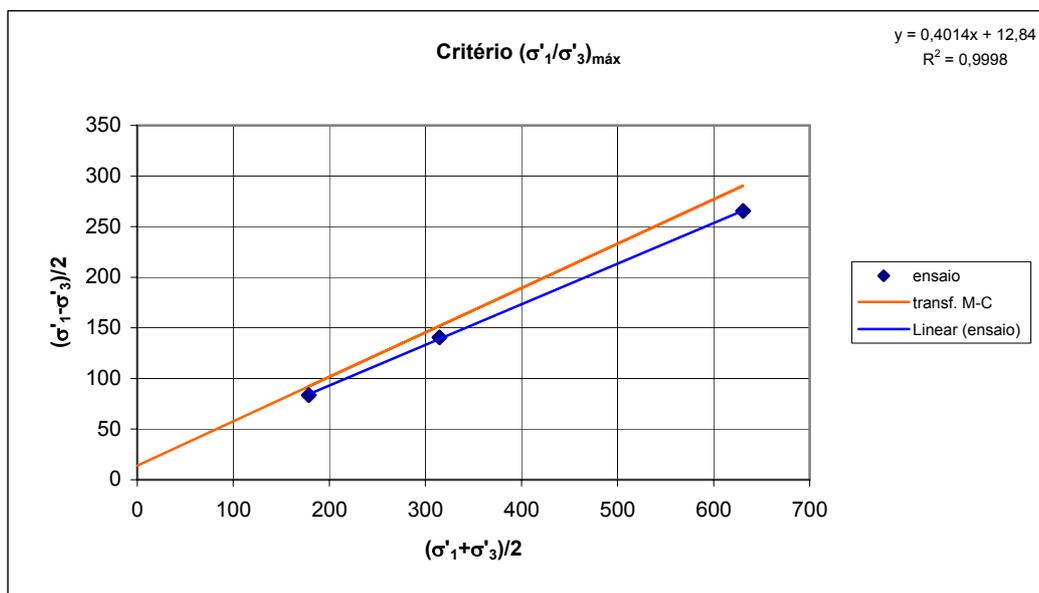
$\phi' = 27^\circ$      $c' = 12 \text{ kPa}$



**Fig. 5.14 a) - Ensaio triaxial. Jazida 3. Amostra do furo SPP 202**



$\phi' = 24^\circ$      $c' = 14 \text{ kPa}$



**Fig. 5.14 b) - Ensaio triaxial. Jazida 3. Amostra do furo SPP 207**

Na definição dos parâmetros de resistência ao corte adotou-se o critério de maximização da relação entre a tensão horizontal e vertical efetiva. A utilização de outros critérios, nomeadamente tensão deviatória máxima ou excesso de pressões neutras máximo, conduzem a resultados aproximadamente semelhantes.

Relativamente ao módulo de deformabilidade, os valores apresentados no Quadro 5.16 foram calculados para 50% da tensão de rotura, a que corresponde uma extensão de aproximadamente 1% a 2%, valores usuais em barragens de aterro zonadas.

Tendo em conta os resultados dos ensaios triaxiais, admitiu-se para o ângulo de atrito efetivo um valor igual a  $28^\circ$  e para a coesão efetiva um valor igual a 10 kPa. De notar que o material do aterro terá partículas de dimensões superiores às das partículas que constituem as amostras (de dimensões inferiores à do peneiro nº 4), sendo como tal provável que o ângulo de atrito seja um pouco superior e a coesão efetiva inferior à resultante dos ensaios, não obstante ser a fração fina a controlar o comportamento do material.

Em termos de deformabilidade adotaram-se conservativamente os seguintes parâmetros com base nos resultados dos ensaios de compressão triaxial e ponderando as características dos materiais em causa:

$$E = 10 \text{ MPa} \quad \nu = 0,40$$

A permeabilidade dos materiais do núcleo foram determinadas através de ensaios de permeâmetro de carga variável efetuados sobre 4 amostras das jazidas 1 e 2 (coincidentes com as amostras objeto de ensaios triaxiais). No Quadro 5.17 apresentam-se os resultados obtidos.

**Quadro 5.17 - Coeficientes de permeabilidade**

JAZIDA	FURO	K [m/s]
J1	34	$7,2 \times 10^{-9}$
J2	14	$6,1 \times 10^{-9}$
J2	57	$6,0 \times 10^{-9}$
J2	123	$5,4 \times 10^{-9}$

Tendo em conta os resultados dos ensaios e o fuso especificado para os materiais do núcleo, foram adotados valores de  $5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$  e  $5 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ , respectivamente, para a permeabilidade vertical e horizontal.

A definição do valor de permeabilidade horizontal foi efetuada com base em pressupostos conservativos, tendo em consideração que a compactação das camadas poderá induzir alguma estratificação dos aterros e, ainda, tendo em conta valores correntes de anisotropia divulgados pela bibliografia da especialidade.

### 5.3.3 - Materiais de filtro (2)

Os materiais de filtro definidos pelo fuso granulométrico (2), serão provenientes da exploração das aluviões arenosas que ocorrem em abundância ao longo da calha do rio, no interior da área do reservatório a montante da barragem.

A granulometria dos materiais do filtro foi definida com base nos critérios de Terzaghi, por forma a constituírem uma defesa contra a erosão interna quer do núcleo quer dos materiais da fundação e, em simultâneo, funcionarem como dreno. Houve também a preocupação de definir o fuso de forma a incluir a generalidade dos materiais ensaiados, sem comprometer as suas funções. Tratam-se essencialmente de areias médias a grosseiras com uma pequena percentagem de cascalho fino. Assim os materiais para filtro devem obedecer às seguintes regras:

$$a) \frac{D_{15} \text{ do filtro}}{D_{15} \text{ da base}} \geq 5; \quad \frac{D_{15} \text{ do filtro}}{D_{85} \text{ da base}} \leq 5$$

Os materiais dos filtros não deverão conter mais do que 3% de elementos passados no peneiro ASTM nº 200 (0,074 mm). O coeficiente de uniformidade, Cu, dos filtros deverá ser da ordem de 6 a 8.

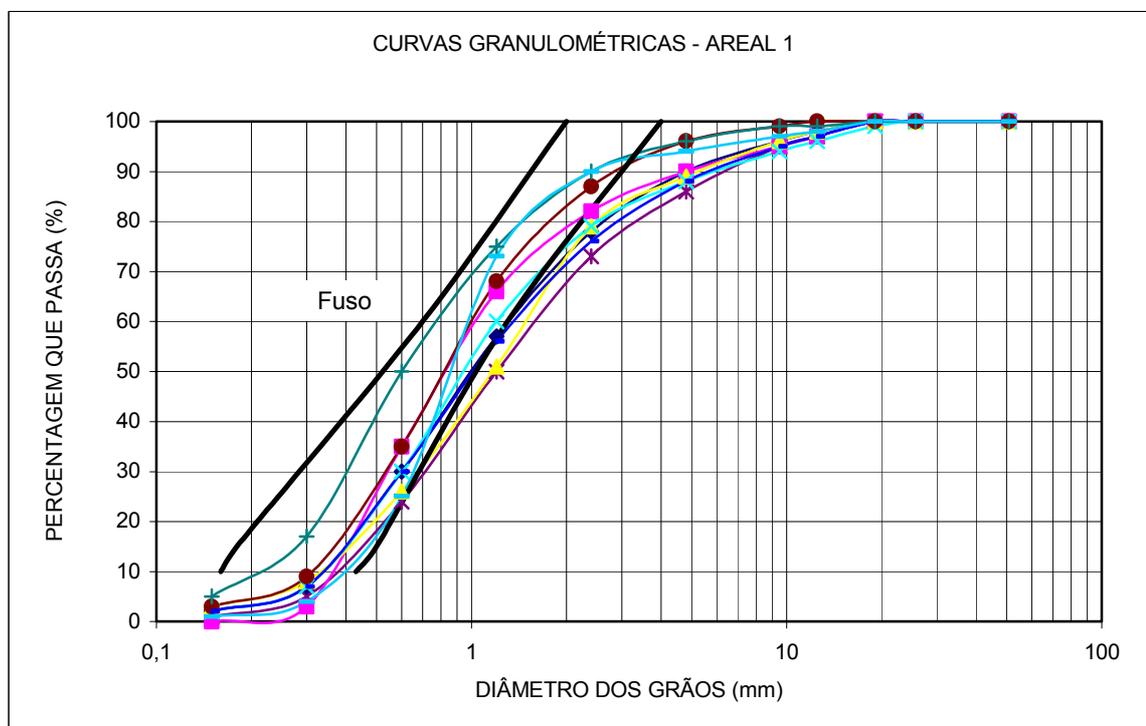
Na Fig.5.15 apresentam-se as curvas granulométricas de amostras provenientes de areias na calha do rio a montante do eixo da barragem. Da observação da figura constata-se que os materiais em causa aproximam-se do limite superior do fuso, devendo ser objeto de alguma seleção e/ou tratamento por forma a ficarem inseridas no seu interior.

No Quadro 5.18 apresentam-se as principais características granulométricas dos materiais de filtro.

**Quadro 5.18 - Características Granulométricas dos Materiais de Filtro**

% Finos (passada no #200)	D <sub>10</sub> (mm)	D <sub>15</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	D <sub>100</sub> (mm)
3	0,16 – 0,43	0,18 – 0,50	0,70 – 1,30	2 – 4

**Fig. 5.15 - Curvas Granulométricas das Areias na Calha do Rio**



A resistência mecânica, as características de deformabilidade e as permeabilidades adotadas para estes materiais tiveram em consideração a experiência adquirida com materiais semelhantes e os valores constantes da bibliografia. Em síntese:

$$\phi' = 35^\circ$$

$$E = 30 \text{ MPa} \quad \nu = 0,30$$

$$K_h = k_v = 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

### 5.3.4 - Materiais dreno (3)

Os materiais de dreno serão provenientes de pedreiras ou de exploração dos afloramentos rochosos e seguem essencialmente os mesmos critérios granulométricos assumidos para os materiais de filtro, mas ainda condicionados por razões de permeabilidade, tendo-se assumido para este elemento fundamental do perfil o coeficiente  $K = 10^{-2} \text{ m/s}$ , conservativo função da granulometria definida.

Houve ainda o cuidado de assegurar a não colmatação do dreno com material do filtro que lhe pudesse retirar eficiência.

O fuso definido para o dreno especifica-se no Quadro 5.19. Tratam-se essencialmente de cascalhos desde finos a grosseiros.

**Quadro 5.19 - Características Granulométricas dos Materiais de Dreno**

% FINOS (passada no #200)	D <sub>15</sub> (mm)	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>60</sub> (mm)	D <sub>85</sub> (mm)	D <sub>máx</sub> (mm)
0	2,5 – 6,5	7 – 15	10 – 20	17 – 33	20 – 40

Assumiu-se conservativamente para estes materiais os seguintes parâmetros:

$$\phi' = 38^\circ$$

$$E = 30 \text{ MPa} \quad \nu = 0,30$$

$$K_h = k_v = 1 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

### 5.3.5 - Material dos maciços estabilizadores (4)

Os maciços estabilizadores serão constituídos por materiais provenientes da exploração dos afloramentos de gnaisses migmatíticos e de granitos gnaissoides no interior da área da bacia hidráulica e, em grande parte, dos materiais provenientes das escavações, designadamente para implantação do vertedouro.

No Quadro 5.20 apresentam-se os valores de identificação fundamental assumidos no fuso.

**Quadro 5.20 - Caracterização granulométrica dos materiais dos maciços estabilizadores**

Material	% de Finos (passada no #200)	%passada no #10	% Grossos retida - #3/4	D50 (mm)	D100 (mm)
4	0 – 8 <sup>(1)</sup>	0 – 20	62 – 92	40 - 200	200 – 700

Os valores de cálculo das características mecânicas e de deformabilidade adotados para os materiais dos maciços estabilizadores foram determinados através da ponderação de correlações divulgadas na bibliografia.

Neste contexto, salienta-se a análise de numerosos ensaios triaxiais em materiais de enrocamento realizados por Leps (1970) que se representam na Fig. 5.16 e as correlações propostas quer por Barton e Kjaernsli (1981), que têm em conta a influência da densidade relativa dos materiais, e que se representam na Fig. 5.17.

<sup>(1)</sup> Nas cotas inferiores do maciço de jusante, de modo a se assegurar uma elevada permeabilidade a percentagem de finos será limitada a 5%

Fig. 5.16 - Relação entre  $\phi'$  e a tensão normal efectiva em materiais de enrocamento

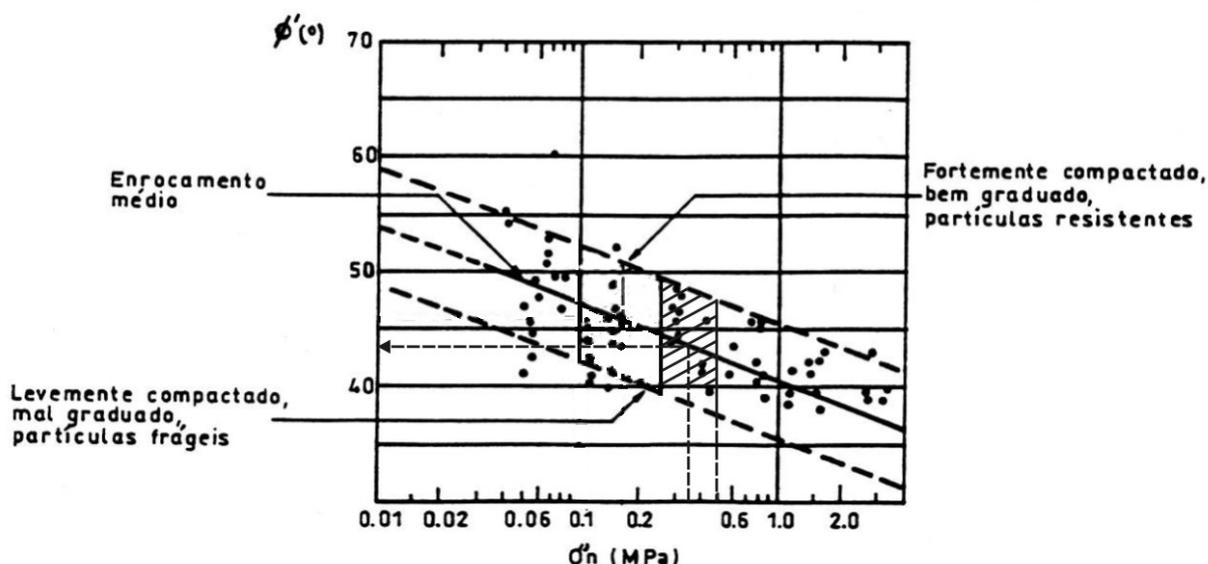
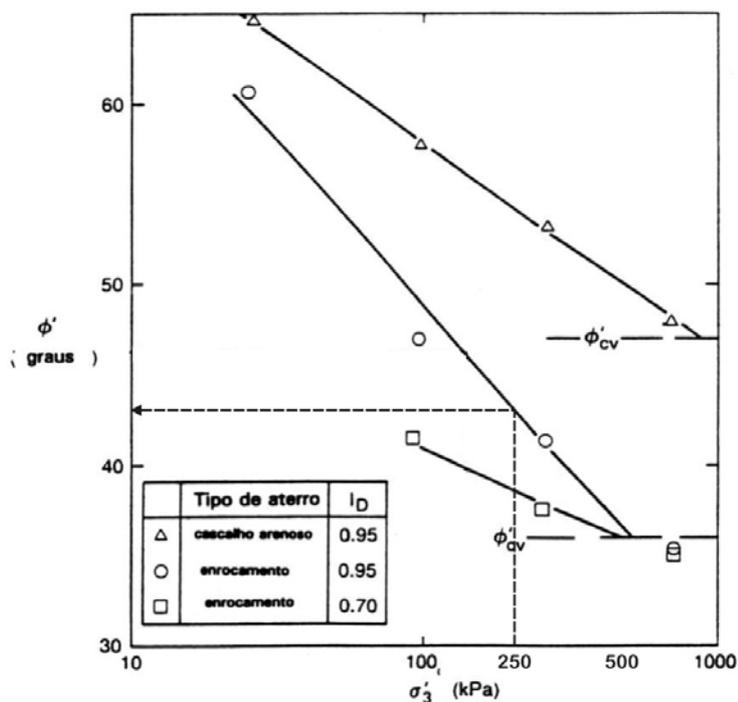


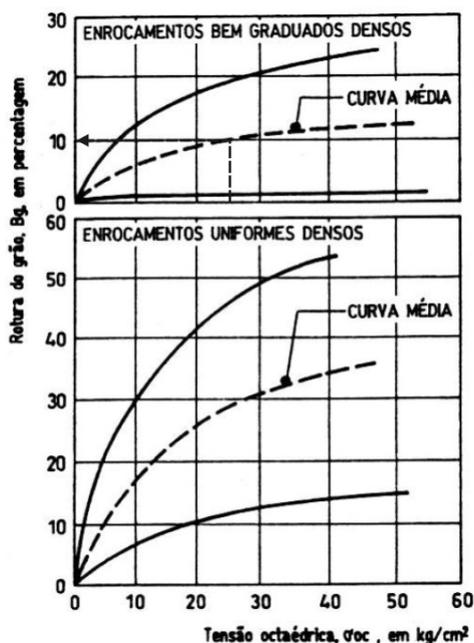
Fig. 5.17 - Resistência ao Corte de Enrocamentos, Medida em Ensaios Triaxiais Realizados com Amostras de 230mm de Diâmetro (Barton e Kjaernsli, 1981)



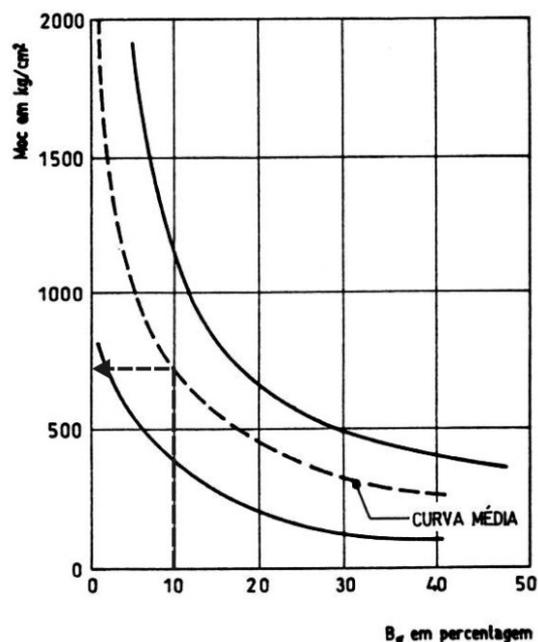
Tendo ainda em vista a caracterização destes materiais em termos de deformabilidade, realizou-se uma análise de sensibilidade em que se ponderaram os valores dos ensaios de absorção de água e, ainda, o fuso granulométrico adoptado para os materiais do enrocamento. Este estudo foi efetuado mediante a utilização de correlações propostas por Marsal e Resendiz

(1975) e que se representam nas Fig. 5.18 e 5.19, em função das tensões verticais máximas a que os materiais irão estar sujeitos.

**Fig. 5.18 - Ruptura dos Grãos em Função do Nível de Tensão em Ensaios de Compressão Triaxial e de Compressão Uniaxial**



**Fig. 5.19 - Módulo de Deformação em Compressão Uniaxial em Função da Percentagem de Ruptura dos Grãos**



Ponderando o intervalo de valores da tensão normal efetiva e de  $\sigma_3$  e o tipo de materiais de enrocamento, assumiram-se os seguintes parâmetros de cálculo e/ou intervalo de parâmetros mais provável.

$$\phi = 38^\circ - 48^\circ \text{ (com valores prováveis entre } 42 \text{ e } 45^\circ)$$

$$c' = 0$$

$$E = 60 \text{ MPa}$$

$$\nu = 0.30$$

$$K_h = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$k_v = 1 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

$$(K_h = K_v = 5 \times 10^{-5} \text{ m/s para a \% de finos } < 5\% \text{ - níveis inferiores do maciço de jusante)}$$

Para avaliação da resistência ao corte dos enrocamentos foram também utilizadas as seguintes equações (Fig. 5.20):

$$(1) \quad \tau = 1.35 \sigma^{0.9} \quad (\text{t/m}^2)$$

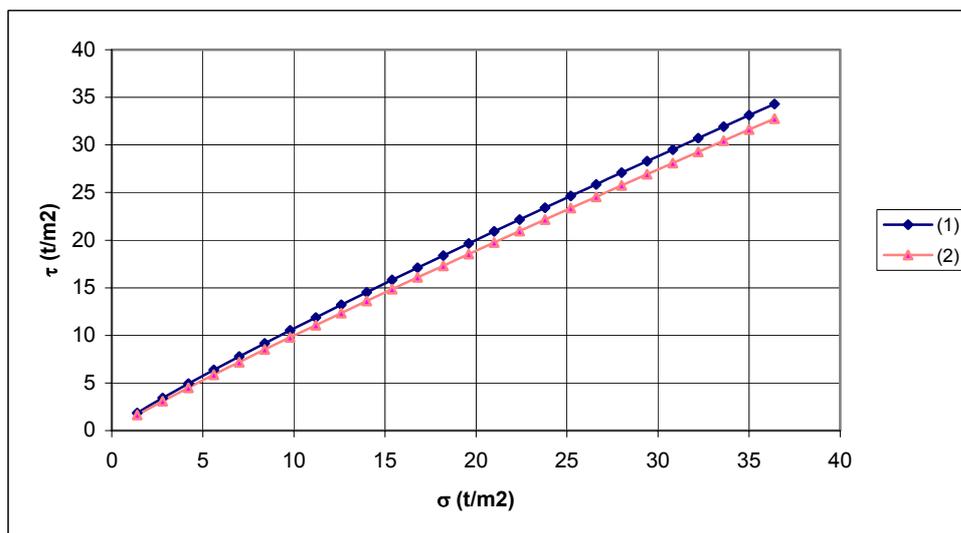
$$(2) \quad \tau = 1.20 \sigma^{0.92} \quad (\text{t/m}^2)$$

representativas de materiais gnaissicos afins, obtidos em outros estudos<sup>(2)</sup> da mesma índole.

<sup>(1)</sup> Paulo Cruz - 1996, 2002

Pelas expressões mencionadas obtêm-se valores entre 42° e 48° e, se se atender às alturas médias da barragem de Figueiredo, entre 43° e 45°.

**Fig. 5.20 – Relação  $\tau - \sigma$**



Sublinha-se, que dadas as características granulométricas dos materiais em causa, a sua adequada caracterização mecânica só poderá ser feita em fase de obra com a execução dos aterros experimentais especificados no projeto.

No entanto, o reconhecimento geológico já efetuado no local, permite antecipar condições adequadas à obtenção de um enrocamento de granulometria extensa, caracterizado por uma resistência mecânica adequada à estabilidade da barragem e por valores de permeabilidade que garantem, durante a fase de rebaixamento rápido, a descida da linha de saturação em simultâneo com a descida do nível das águas no reservatório.

A utilização de materiais provenientes diretamente das escavações do vertedouro recomenda, ainda assim, a adoção de uma atitude conservativa na sua parametrização, de modo a não introduzir constringimentos excessivos nos procedimentos de escavação que poderiam refletir-se de modo gravoso nos custos unitários destes materiais.

A execução dos aterros experimentais previstos no projeto permitirá aferir as reais características dos materiais e dispor de uma caracterização geológico-geotécnica mais realista, em particular no que respeita aos materiais de enrocamento.

### 5.3.6 - Enrocamentos de proteção dos taludes (5) e (5')

No que se refere aos materiais de enrocamento de proteção, prevê-se que sejam também provenientes da exploração dos afloramentos rochosos que ocorrem no interior do reservatório e também na área do vertedouro.

Na definição da granulometria do material constituinte da camada de enrocamento de montante foi tida em conta a sua função de proteção contra a erosão resultante da ondulação do reservatório. Nestas condições, tendo em atenção que a altura máxima das ondas é de 1,7 m ( $1,8 \times H_s$ ) preconiza-se um D50 (dimensão do peneiro por onde passa 50% do material) de 350 a 500 mm.

Abaixo da cota (90,0), o efeito da ondulação será menos gravoso, pelo que se reduziu a espessura do enrocamento e se previu a utilização de elementos com uma dimensão inferior à do material 5. Este mesmo material (5') também será empregue na proteção do talude de jusante.

No Quadro 5.21 apresentam-se as principais características granulométricas destes materiais.

**Quadro 5.21 – Fusos Granulométricos dos Materiais do Enrocamento de Proteção (5) e (5')**

MATERIAL	Dmin (mm)	D50 (mm)	Dmáx (mm)
5	60 - 150	350 - 500	600 - 800
5'	20 - 60	250 - 350	500 - 600

## 5.4 – VALIDAÇÃO DA SEGURANÇA E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO

### 5.4.1 - Análise estática

#### 5.4.1.1 - Considerações iniciais

A análise estática da Barragem de Figueiredo, foi efetuada recorrendo ao método de Bishop, implementado automaticamente.

O método de Bishop é um método de equilíbrio limite que determina o fator de segurança à rotura por corte ao longo de uma superfície de deslizamento, através da divisão num número variável de fatias da massa deslizante, que é função da sua geometria e dos diferentes tipos de materiais que a constituem, e admitindo algumas simplificações no que diz respeito às forças de interação entre fatias.

Este método foi utilizado na análise de superfícies circulares, superficiais, intermédias e profundas. A determinação da superfície mais desfavorável, para cada um dos casos analisados, foi efetuada mediante a definição de uma malha de centros e de um número de raios variável, sendo estes definidos através de retas às quais as circunferências são tangentes.

No estudo das fases de pleno armazenamento e de rebaixamento rápido, a contabilização das pressões neutras foi realizada através da definição de linhas piezométricas. A pressão neutra em cada ponto é calculada a partir da altura de água entre esse ponto e a linha piezométrica.

Na análise de estabilidade da fase de construção, a geração de pressões intersticiais ocorridas durante a construção do aterro é simulada através da atribuição de um coeficiente de pressões neutras ( $r_u$ ) a cada material que constitui o corpo da barragem. O coeficiente  $r_u$  relaciona a pressão intersticial da água num determinado ponto com a tensão vertical nesse ponto, através da expressão  $r_u = u/\sigma_1$ , sendo função do tipo de material. Em materiais de elevada permeabilidade, nos quais a dissipação de pressões intersticiais é quase instantânea – como é o caso dos enrocamentos que constituem os maciços estabilizadores –, o valor do coeficiente  $r_u$  é próximo de zero e, em materiais de baixa permeabilidade, assume valores entre zero (teores em água de colocação do lado seco) e cerca de 0.5 (materiais saturados).

Para o perfil P9 (nas proximidades do perfil P10), condicionado pela altura da barragem, foram estudadas as seguintes situações de cálculo:

- (i) fase de construção - talude de montante;
- (ii) fase de construção - talude de jusante;
- (iii) regime permanente – talude de jusante;
- (iv) rebaixamento rápido – talude de montante.

#### **5.4.1.2 – Características mecânicas dos materiais**

A definição das características mecânicas dos materiais que constituem a barragem teve em conta a prospeção geotécnica realizada e foi já objeto de caracterização, quer no Capítulo 4 quer no item 5.3.

Apresenta-se no Quadro 5.22 um resumo das características adotadas.

Nos estudos efetuados teve-se ainda em consideração a hipótese de os materiais de enrocamento que integram os maciços estabilizantes poderem ter características mecânicas

ligeiramente inferiores, de modo que ainda assim, fosse validada a segurança da obra, face ao interesse na utilização direta dos materiais de escavação do vertedouro que constituirão a grande parte do volume de enrocamento da obra.

**Quadro 5.22 – Características mecânicas dos materiais**

Materiais	$\gamma_d$ ( $m^3$ )	$\gamma_h$ ( $m^3$ )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ ( $^\circ$ )	$r_u$
Maciço estabilizador de montante	18,0	21,5	0	45	0
Núcleo	19,0	20,0	10	28	0.2
Filtros	17,5	19,5	0	35	0
Drenos	17,5	19,5	0	38	0
Maciço estabilizador de jusante	18,0	21,5	0	45	0
Enrocamentos de proteção	19,5	21,5	0	48	0
Aluviões	17,5	19,5	0	30	0
Material de reposição das escavações	17,5	19,5	0	35	0
Maciço de fundação	20,0	23,0	50	45	0

#### 5.4.1.3- Análise dos resultados obtidos

Dos cálculos efetuados selecionaram-se algumas superfícies de deslizamento que traduzem a estabilidade global do corpo da barragem e que se apresentam nas Figuras 5.21 a 5.24, para as várias fases da obra.

No Quadro 5.23 apresentam-se os fatores de segurança mais condicionantes.

**Quadro 5.23 – Análise de estabilidade estática. Fatores de segurança**

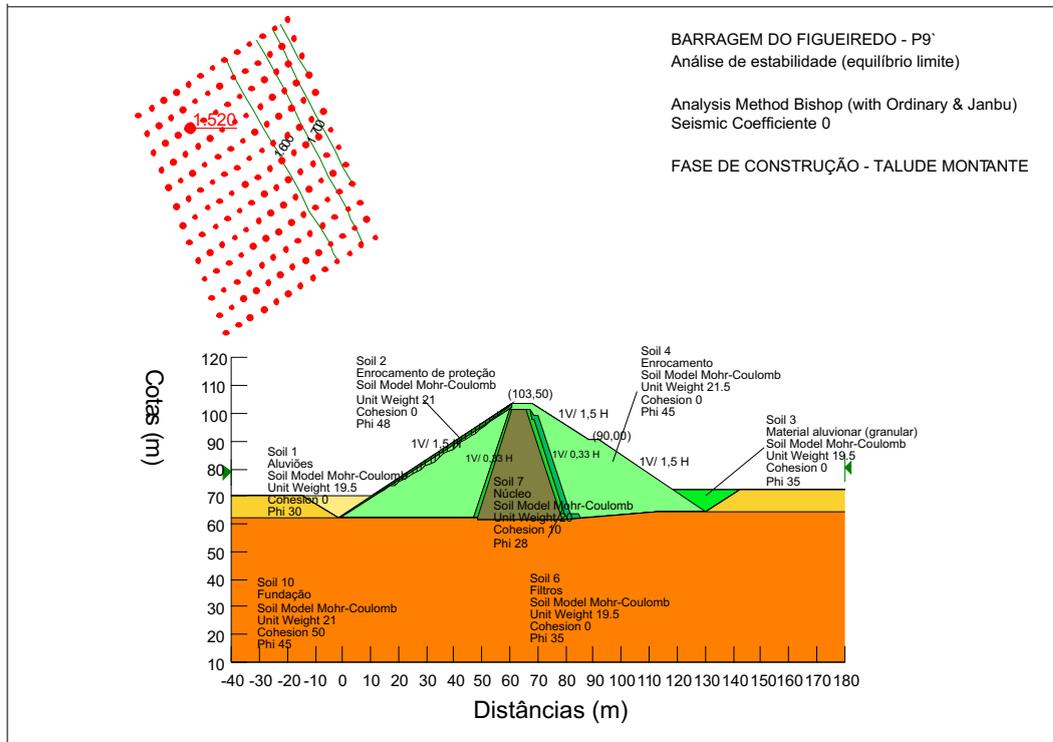
Perfil	Situações Analisadas	Superfícies Circulares		
		Superficiais	Intermédias	Profundas
P9'	Fase de Construção talude de montante	1,52	1,71	1,99
	Fase de Construção talude de jusante	1,58	1,83	2,23
	Regime Permanente talude de jusante	1,52	1,77	1,96
	Rebaixamento Rápido talude de montante	1,52	1,61	1,69

Tendo por base a análise dos fatores de segurança obtidos para as várias superfícies, tecem-se em seguinte algumas considerações gerais.

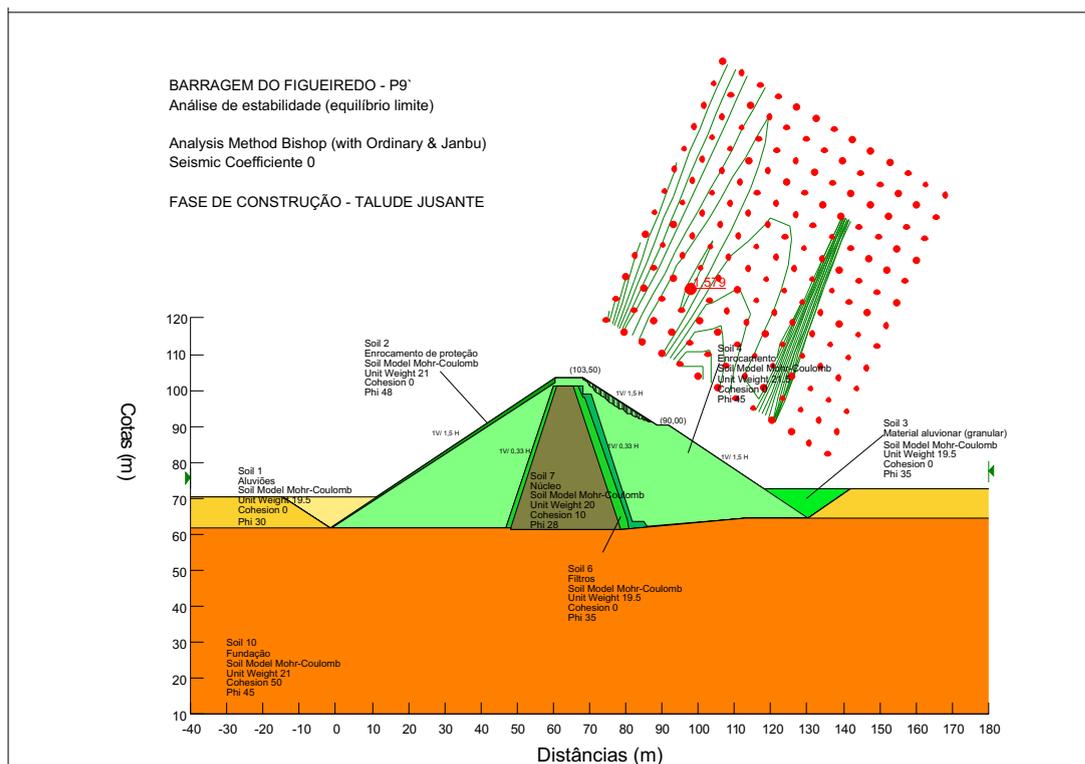
- i) Fase de construção – talude de montante

Nesta fase, a superfície de deslizamento crítica é superficial, sendo caracterizada por uma espessura reduzida ( $CS = 1,52$ ). Com o aumento em profundidade da superfície aumenta, embora pouco significativamente, o coeficiente de segurança, já que as superfícies críticas mais profundas intersectam o núcleo de menor resistência mecânica a que acrescem pressões neutras não nulas.

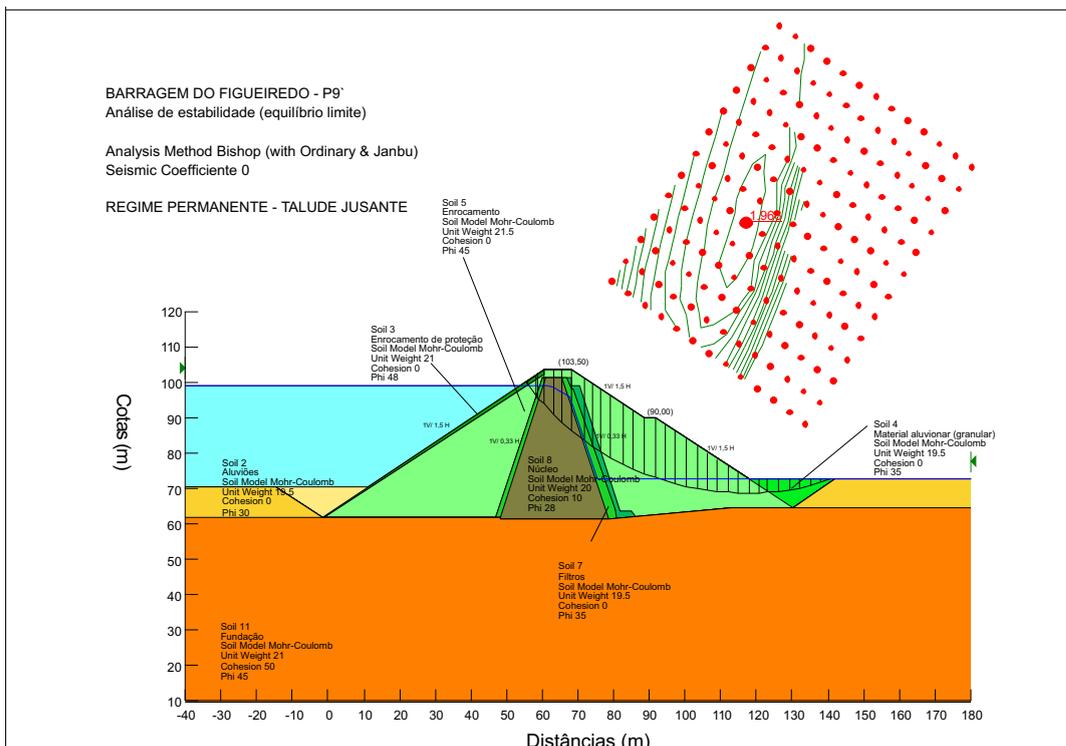
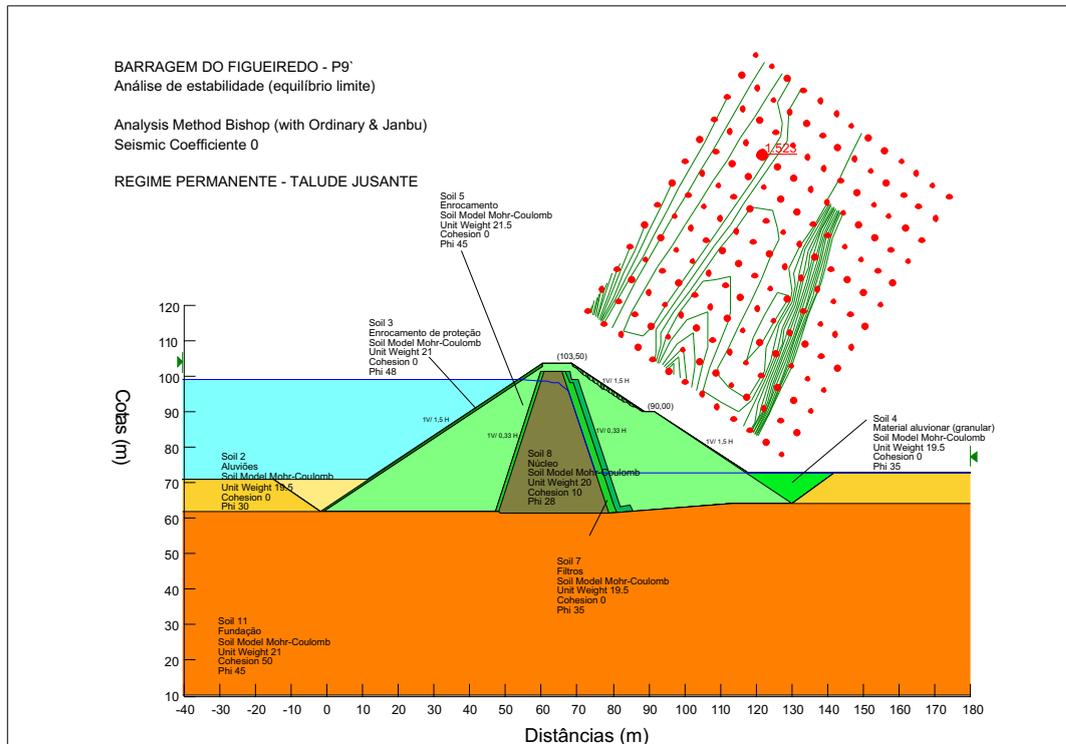
**Fig. 5.21 - Análise de estabilidade estática. Fase de construção - Talude de montante**



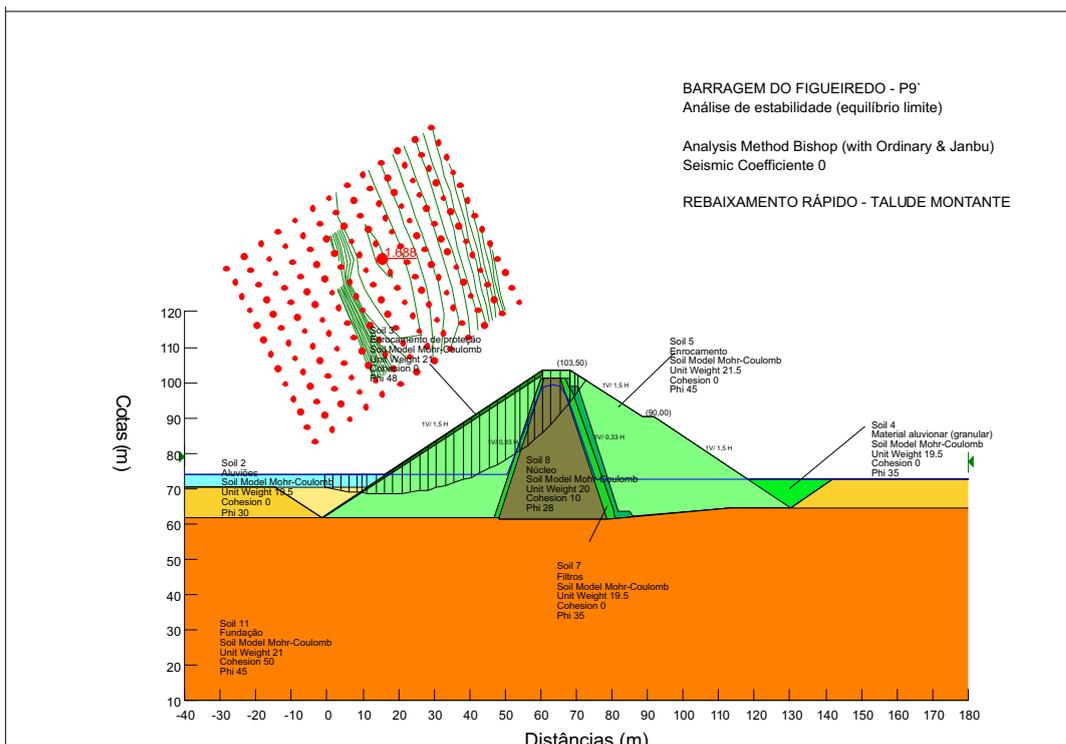
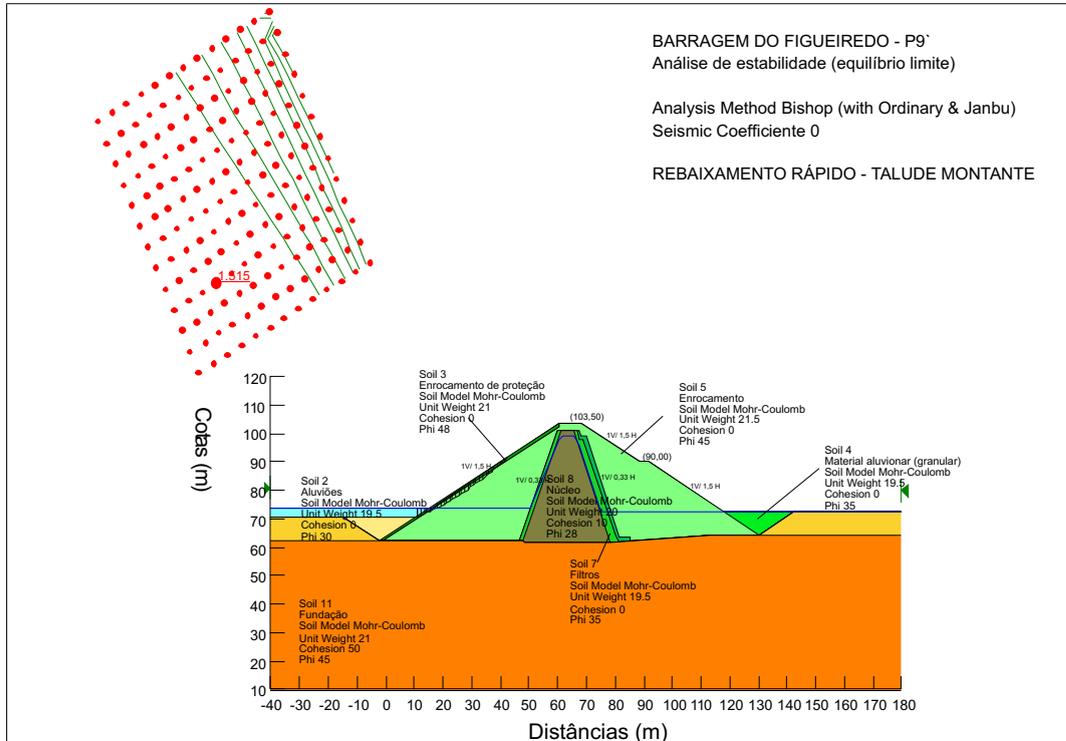
**Fig 5.22 - Análise de estabilidade estática. Fase de construção - Talude de jusante**



**Fig. 5.23 - Análise de estabilidade estática. Regime permanente**



**Fig. 5.24 - Análise de estabilidade estática. Rebaixamento rápido**



ii) Fase de construção – talude de jusante

No que diz respeito ao talude de jusante e para a fase de construção, a superfície de escorregamento crítica é superficial ( $CS = 1,52$ ) e assume coeficientes de segurança idênticos aos do talude de montante que tem as mesmas inclinações. Para superfícies mais profundas, o coeficiente de segurança aumenta para valores da ordem de 1,9.

iii) Fase de regime permanente – talude de jusante

Nesta situação as superfícies críticas são também superficiais, envolvendo volumes reduzidos de material ( $CS = 1,52$ ). Este tipo de superfícies são típicas de maciços homogêneos constituídos por materiais atriticos e sem coesão. As superfícies condicionantes para a operacionalidade da obra são as que envolvem maior volume de material - intermédias a profundas - a que correspondem coeficientes de segurança superiores, de 1,8 a 1,9. Estes valores podem ser ligeiramente inferiores se contabilizarmos, no que se refere às superfícies profundas, alguma redução do ângulo de atrito dos maciços, em resultado do maior estado de tensão. Para  $\phi' = 43^\circ$  estes coeficientes de segurança reduzir-se-iam para valores da ordem de 1,8. De referir que tal como acontece na fase de construção, superfícies profundas atravessam os materiais do núcleo de menores resistência mecânica e com pressões neutras significativas.

iv) Fase de rebaixamento rápido – talude de montante

A superfície crítica obtida para esta fase da obra é superficial, correspondendo-lhe um coeficiente de segurança mínimo de 1,52. A estabilidade desta fase é essencialmente condicionada pelas pressões neutras no maciço (ação instabilizante) e pela água no reservatório (ação estabilizante). O coeficiente de segurança aumenta para valores da ordem de 1,7 com o aumento da profundidade. Para ângulo de atrito do enrocamento de  $\phi' = 43$  os valores correspondentes às superfícies profundas desceriam para 1,6.

Para todas as situações de cálculo os valores dos fatores de segurança mínimos obtidos são superiores aos habitualmente exigidos, nomeadamente, 1,4 para a fase de construção, 1,5 para o regime permanente e 1,3 para o rebaixamento rápido, ficando assim verificada a estabilidade estática da obra.

Refira-se que se considerou pertinente assumir uma atitude de algum conservadorismo relativamente aos fatores de segurança obtidos para a validação da segurança da obra, ponderada a importância e dimensão da obra e o reconhecido interesse técnico e económico na utilização direta dos enrocamentos das escavações do vertedouro sem constringimentos excessivos.

De sublinhar, que os terrenos de fundação não condicionam a estabilidade global da obra, dada a sua significativa resistência mecânica. Salieta-se que os materiais aluvionares que ocorrem na zona central do vale serão saneados ao longo de toda a extensão do corpo da barragem (núcleo e maciços estabilizadores).

#### **5.4.2 – Análise de estabilidade sísmica**

A análise de estabilidade sísmica do corpo da barragem foi efetuada mediante a utilização de um método pseudo-estático.

O método pseudo-estático simula a ação sísmica através da aplicação de forças adicionais de inércia no centro de gravidade das fatias em que é dividida a massa delimitada pela superfície de escorregamento. Estes métodos simulam o efeito dos fenômenos sísmicos através da adição de forças de inércia, iguais ao produto de um coeficiente sísmico pelo peso da fatia, aplicadas no seu centro de gravidade.

Nos cálculos efetuados com recurso a este tipo de métodos, o corpo da barragem é considerado como sendo rígido, sendo a caracterização da ação sísmica realizada através do valor da aceleração máxima esperada na fundação, considerado constante ao longo do perfil da barragem.

O método pseudo-estático utilizado na análise de estabilidade sísmica, para os dois perfis mais condicionantes, foi o de Bishop.

No presente estudo foram realizadas análises pseudo-estáticas para todas as situações de vida da obra, nomeadamente, fase de construção, regime permanente e rebaixamento rápido.

De realçar que desde que os solos não percam, em resultado de ação sísmica ou dos deslocamentos associados, mais de 15% da sua resistência inicial, e desde que as tensões neutras geradas sob as ações sísmicas não sejam muito elevadas, tem-se revelado suficiente realizar a análise sísmica por métodos pseudo-estáticos.

Considerou-se para a ação sísmica e para a fase de regime permanente um valor de aceleração máxima na fundação de 0,1g para um período de retorno de 1000 anos. Admitindo um tempo de vida da obra de 50 anos, esta aceleração corresponde a uma probabilidade de 95% de não ser excedida a aceleração máxima. No que se refere às fases de construção e rebaixamento rápido, o seu curto período de duração implicaria a consideração, nos cálculos, de sismos caracterizados por acelerações reduzidas para se obter uma probabilidade de ocorrência nestas fases idêntica à considerada em situação de regime permanente. Desta

forma, a análise de estabilidade pseudo-estática destas etapas não foi realizada por não ser condicionante.

A verificação da segurança sísmica conduziu, para a situação analisada – regime permanente –, a fatores de segurança superiores à unidade. A superfície de deslizamento crítica – Fig. 5.25 - é superficial e corresponde a um coeficiente de segurança de 1,2, valor este que aumenta com a profundidade das superfícies.

### **5.4.3 - Análise de tensões - deformações**

#### **5.4.3.1 – Introdução**

A finalidade dos estudos de tensões – deformações realizados consiste em conhecer, designadamente, os deslocamentos do corpo da barragem durante a fase de construção e primeiro enchimento e a eventual ocorrência de transferência de tensões entre materiais de rigidez diferentes.

A otimização das inclinações a conferir aos taludes do núcleo face ao volume de materiais disponíveis foi efetuada com base na análise de tensões, nomeadamente, na confirmação da inexistência de transferências de tensões importantes entre o núcleo e os maciços estabilizadores.

A determinação dos deslocamentos máximos no corpo da barragem associados à fase de construção e ao primeiro enchimento permite definir balizas para a avaliação de segurança e o acompanhamento do comportamento da obra, inferir os deslocamentos a longo prazo da barragem e definir a sobreelevação a conferir ao coroamento.

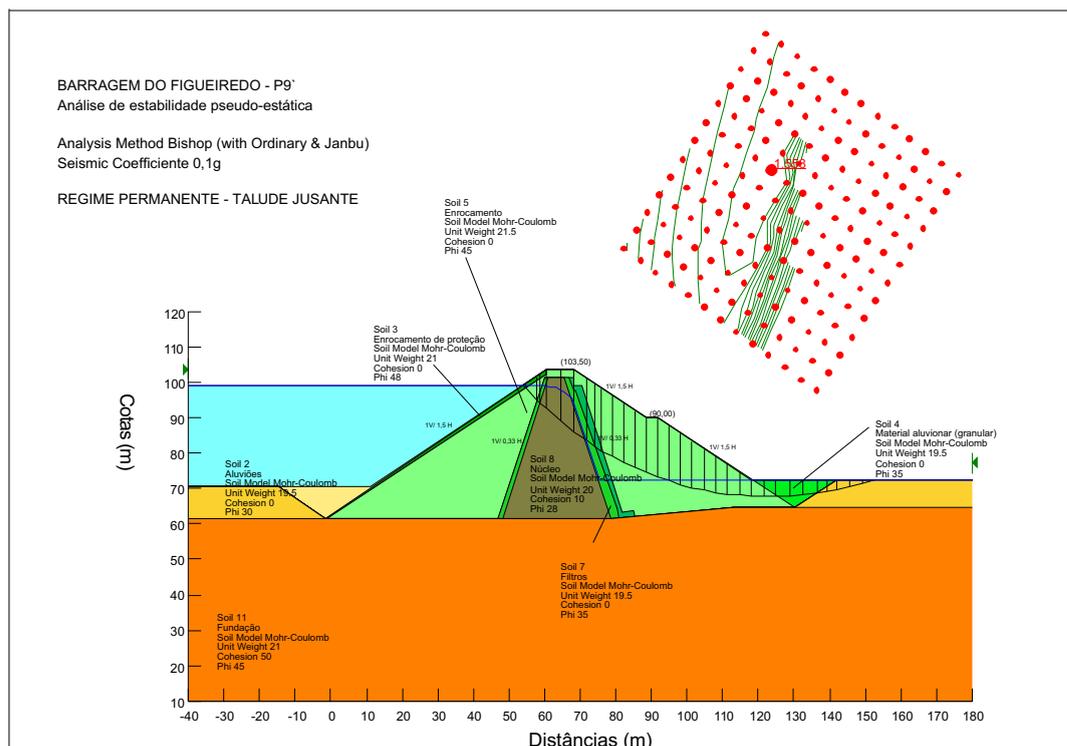
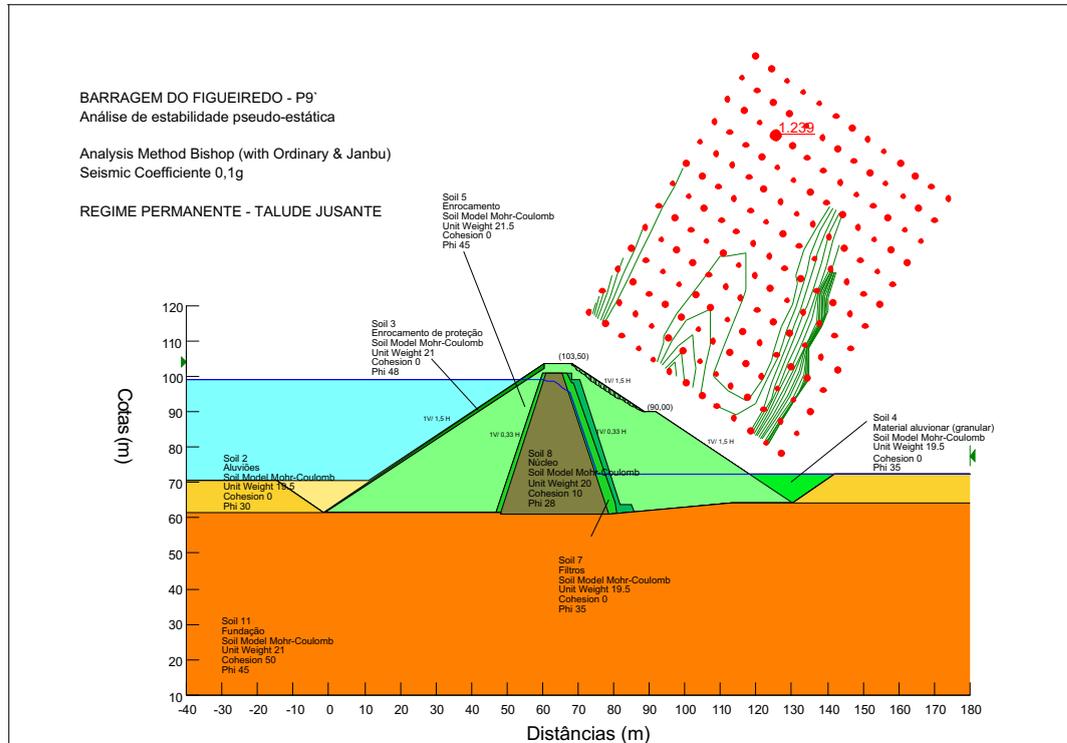
As análises foram efetuadas em estado de deformação plana admitindo um comportamento elásto-plástico para todos os materiais da barragem.

#### **5.4.3.2 – Método utilizado e descritização do domínio**

Os estudos de tensões - deformações foram efetuados recorrendo ao método de elementos finitos mediante a utilização do programa de cálculo automático PLAXIS – versão 7.2.

Este programa permite adotar diversas leis reológicas para os materiais, designadamente não lineares e variáveis no tempo, diversos tipos de elementos estruturais, contabilizar individualmente as interfaces solo-estrutura e, ainda, realizar análises dinâmicas.

**Fig. 5.25 - Análise de estabilidade sísmica. Regime permanente**



A malha de elementos finitos é gerada pelo programa PLAXIS que recorre a uma versão especial do “Triangle generator” de Serpa. No presente estudo utilizou-se uma malha triangular de 6 nós para representar o terreno de fundação e os materiais de aterro.

No que respeita às condições de fronteira admitiu-se que os deslocamentos horizontais são impedidos nas fronteiras verticais e que ambos os deslocamentos vertical e horizontal são impedidos na fronteira horizontal.

Na Figura 5.26 representa-se a malha de elementos finitos e condições de fronteira definidas.

#### **5.4.3.3 – Características dos materiais**

Os parâmetros que caracterizam o comportamento dos materiais – módulo de deformabilidade e coeficiente de Poisson – foram estimados com base nos resultados de prospeção geotécnica realizada e ponderando valores habituais na bibliografia da especialidade para materiais semelhantes.

A caracterização dos materiais que constituem o núcleo baseou-se nos resultados dos ensaios triaxiais efetuados. Para o efeito foram ponderados os valores obtidos para diferentes tensões de consolidação e para diferentes níveis de deformação, com o objetivo de definir valores de cálculo que traduzam as características médias destes materiais e que sejam condicionantes do comportamento global da barragem.

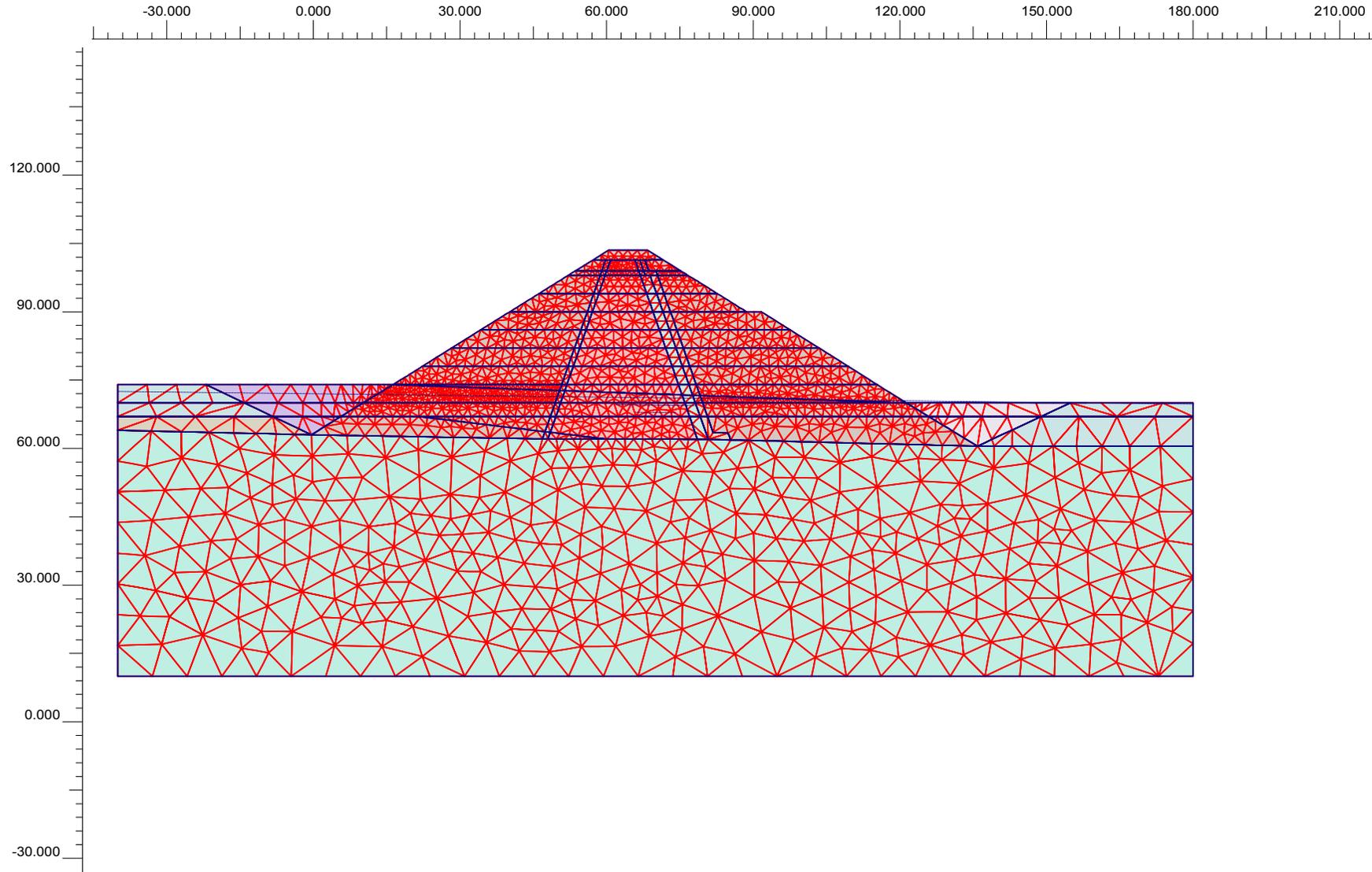
Os valores estimados para os maciços estabilizadores em enrocamento tiveram em conta os resultados disponíveis dos ensaios de resistência à compressão simples e porosidade e, ainda, correlações usuais entre os parâmetros dos ensaios e as características mecânicas dos materiais.

No que concerne aos materiais que constituem os filtros e drenos, adotaram-se valores correntes para caracterizar estes materiais, inferidos de situações análogas.

Relativamente aos materiais de fundação, a quantificação dos parâmetros que os caracterizam foi realizada com base nos resultados das sondagens.

De realçar que foi sempre adotada uma atitude conservativa na seleção das características mecânicas de cálculo, em especial no que diz respeito aos módulos de deformabilidade, uma vez que estes parâmetros influenciam sobremaneira os valores de deformações calculados.

Fig.5.26 - Malha de elementos finitos e condições de fronteira



No Quadro 5.24 indicam-se os valores dos parâmetros adotados nos cálculos.

**Quadro 5.24 – Características dos materiais**

Material	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$\nu$	E (kPa)
Maciço estabilizador de montante	18,0	21,5	0	45	0,30	60 000
Núcleo	19,0	20,0	10	28	0,40	10 000
Filtros	17,5	19,5	0	35	0,30	30 000
Drenos	17,5	19,5	0	38	0,30	30 000
Maciço estabilizador de jusante	18,0	21,5	0	45	0,30	60 000
Solo residual	18,0	21,0	50	40	0,30	40 000
Maciço de fundação	20,0	23,0	50	45	0,30	1 000 000

#### 5.4.3.4 – Cálculos efetuados

##### Fase de construção

A simulação da construção do aterro contempla 3 etapas distintas. Uma etapa inicial que consiste na caracterização das condições existentes previamente à construção da barragem. Uma etapa que simula a escavação correspondente ao saneamento para fundação da barragem e, finalmente, a etapa de construção do aterro, que é simulada através de um processo incremental, dependendo a precisão dos resultados do número de fases intermédias consideradas. De realçar que os resultados de cada fase (deslocamentos, tensões, etc.) são adotados como condições iniciais das fases posteriores.

O procedimento de cálculo consiste, simplificada, em desprezar os assentamentos de cada nova camada devido ao seu peso próprio. De notar que os resultados assim obtidos só resultam corretos nas interfaces das camadas.

No presente estudo consideraram-se 11 fases, a primeira correspondente ao saneamento e as restantes dez à colocação do aterro.

##### Primeiro enchimento

A simulação do primeiro enchimento foi realizada apenas numa etapa, admitindo, conservativamente, a subida instantânea da água no reservatório até ao nível normal de reservamento.

Na realidade, o enchimento da barragem será feito de forma progressiva, estando previstos, dois patamares de enchimento – um à cota (85,00) correspondendo a cerca de 15% da capacidade de armazenamento da barragem e outro à cota (92,00) correspondente ao volume

armazenado na ordem de 45% – em que se procederá ao acompanhamento do comportamento da obra (Capítulo 6).

Considerou-se a saturação imediata do enrocamento do maciço estabilizador de montante. Efetivamente, prevê-se que a linha superior de saturação nos enrocamentos acompanhe a subida do nível das águas do reservatório, dada a elevada permeabilidade que caracteriza este material.

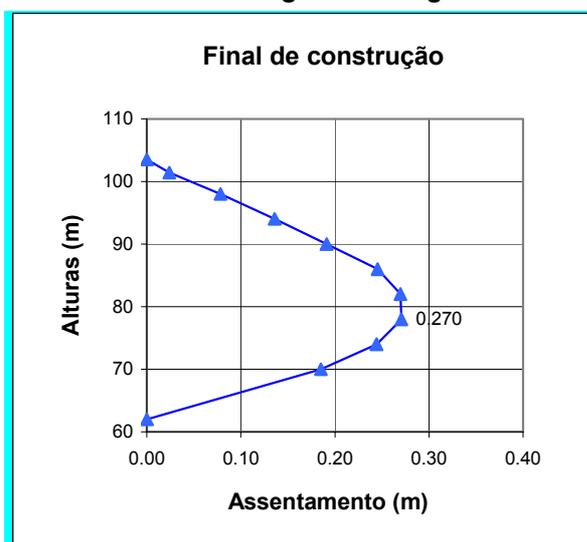
#### 5.4.3.5 – Análise dos resultados obtidos

##### Fase de construção

O estudo de tensões deformações do perfil transversal de maior altura da barragem conduziu a um valor de assentamento máximo do aterro no perfil do núcleo de 0.27 m, que corresponde a cerca de 0.7% da altura total da barragem.

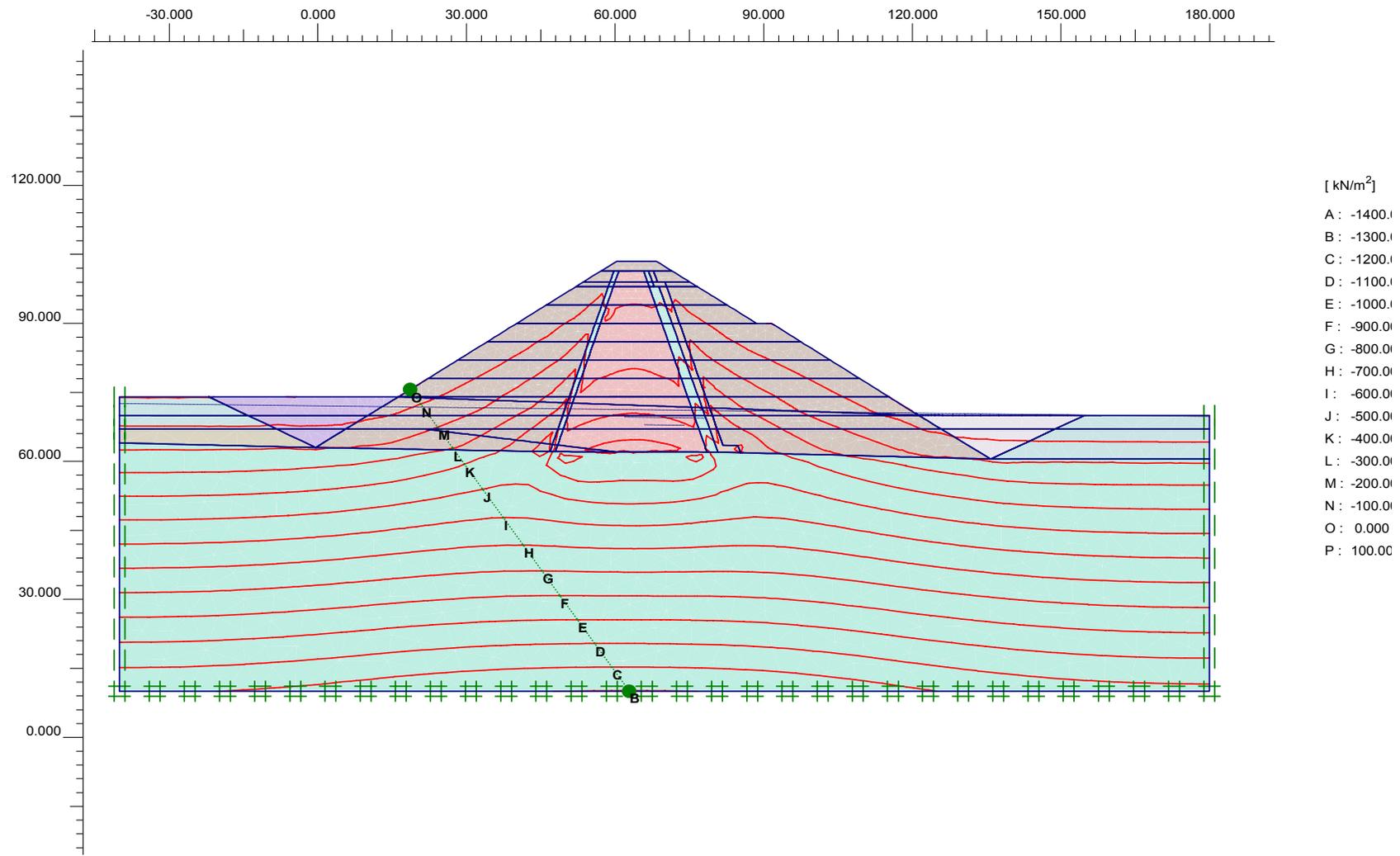
Estes resultados estão representados na Fig. 5.27, onde se representam as curvas do andamento dos deslocamentos ao longo do núcleo da barragem. Verifica-se que, quer o ponto de deslocamentos máximo, quer as curvas de deslocamentos, apresentam um andamento coerente e de acordo com o que seria expectável.

**Fig. 5.27 – Assentamentos ao longo da barragem. Fase de construção**



Na Fig. 5.28, onde se representam as isolinhas de tensões média após o final da construção do aterro, é notória uma transferência de tensões entre o núcleo e ambos os maciços estabilizadores, resultante da maior rigidez apresentada pelos materiais adjacentes à zona central da barragem. No entanto, esta transferência não é suficiente para que se verifiquem fenômenos de fraturação hidráulica.

Fig.5.28 - Tensões médias totais. Final de construção

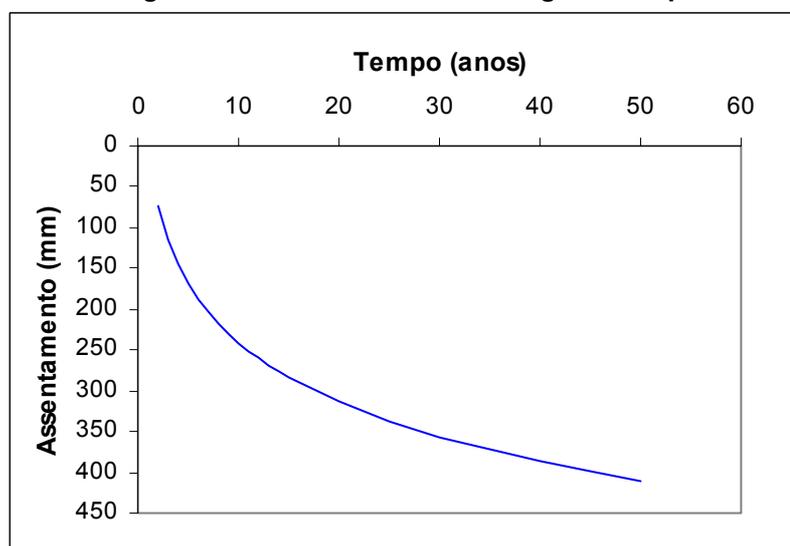


Mean stresses  
 Extreme mean stress  $-1.30 \cdot 10^3$  kN/m<sup>2</sup>

Observa-se que na zona central do núcleo as direções das tensões principais correspondem aproximadamente às direções vertical e horizontal, dado o pequeno valor das tensões de corte instaladas. À medida que nos afastamos do núcleo para um e outro lado do maciço, verifica-se rotação das tensões principais em relação à direção vertical e horizontal, instalando-se tensões de corte em consequência da inclinação dos taludes.

No que se refere à evolução dos assentamentos ao longo do tempo, representados graficamente na Fig.5.29, foi determinada através da seguinte expressão:

**Fig. 5.29 – Assentamentos ao longo do tempo**



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

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);

Conservativamente considerou-se que o assentamento máximo expectável para o período de vida da barragem (50 anos) é da ordem de 1% da altura máxima da barragem.

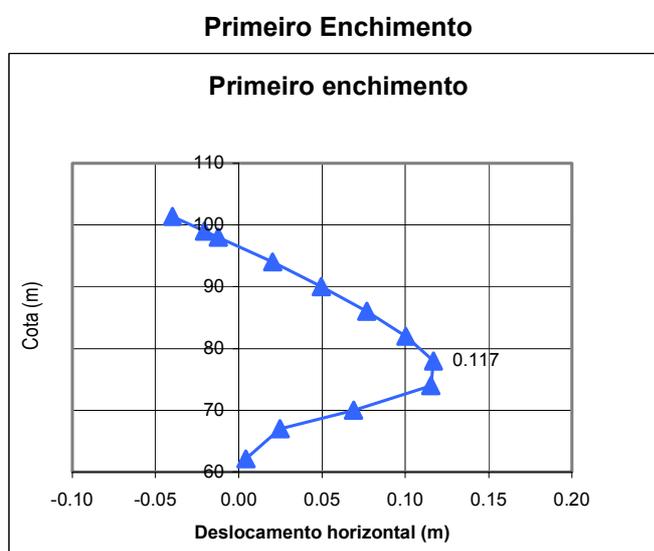
### Primeiro enchimento

O primeiro enchimento do reservatório não é acompanhado, em simultâneo, pela saturação dos materiais que constituem o núcleo, em resultado das percentagens de finos apresentadas

por estes materiais e dos correspondentes coeficientes de permeabilidade. Por este motivo, a ação do primeiro enchimento foi simulada através da aplicação das pressões hidrostáticas no paramento de montante do núcleo e considerando apenas a saturação em simultâneo dos materiais de enrocamento do maciço estabilizador de montante.

Em resultado do primeiro enchimento da barragem, verifica-se um deslocamento horizontal máximo de 12 cm num ponto localizado no núcleo junto ao filtro sub-vertical a montante, a cerca de meia altura da barragem (Fig. 5.30).

**Fig. 5.30 – Deslocamentos Horizontais no Alinhamento de Montante do Núcleo**



Os valores de deslocamentos correspondentes à fase de primeiro enchimento, tendo em conta a altura da barragem e os pressupostos conservativos que basearam os cálculos, são aceitáveis, garantido o adequado funcionamento da obra.

#### 5.4.4 – Estudos de percolação

##### 5.4.4.1 – Introdução

A realização dos estudos de percolação teve como principais preocupações e objetivos a avaliação das vazões percoladas, quer através do corpo da barragem quer através da fundação, na fase de regime permanente e a avaliação da eficiência da cortina de impermeabilização.

O conhecimento das vazões permitiu o dimensionamento do sistema de drenagem e a análise dos gradientes hidráulicos de saída do escoamento, imediatamente a jusante da barragem.

De acordo com as características do perfil tipo prevê-se que a percolação no corpo da barragem seja controlada essencialmente pelos filtros e drenos, localizados no talude de jusante do núcleo, e sob o maciço estabilizador de jusante. Efetivamente, o contraste de permeabilidade dos materiais que constituem os filtros/drenos condiciona a percolação pelo corpo da barragem, verificando-se que no maciço de jusante, em condições habituais de exploração, a saturação não será atingida, a menos das suas cotas inferiores, através das quais será promovida a drenagem dos caudais percolados em direção ao pé de jusante.

Os estudos de percolação foram efetuados para o perfil de maior altura da barragem e para um perfil que, embora com menor altura, apresenta uma situação mais gravosa no que respeita à permeabilidade da fundação. Para este perfil considerou-se a hipótese de realização de um tratamento de estanqueidade da fundação.

#### **5.4.4.2 – Método utilizado e descrição do domínio**

O estudo da percolação foi efetuado através do programa SEEPW, considerando uma linha de saturação inicial no núcleo, obtida pelo método de Taylor, e o seu ajuste automático posterior durante os cálculos, de maneira a satisfazer a condição de pressão atmosférica.

O programa de cálculo automático possibilita a utilização de elementos finitos triangulares de 3 e 6 nós e quadriláteros de 4 a 8 nós e a geração automática da malha ou elemento a elemento.

Nas Figuras 5.31 a 5.33 apresentam-se as malhas de elementos finitos e condições de fronteira correspondentes às duas situações analisadas.

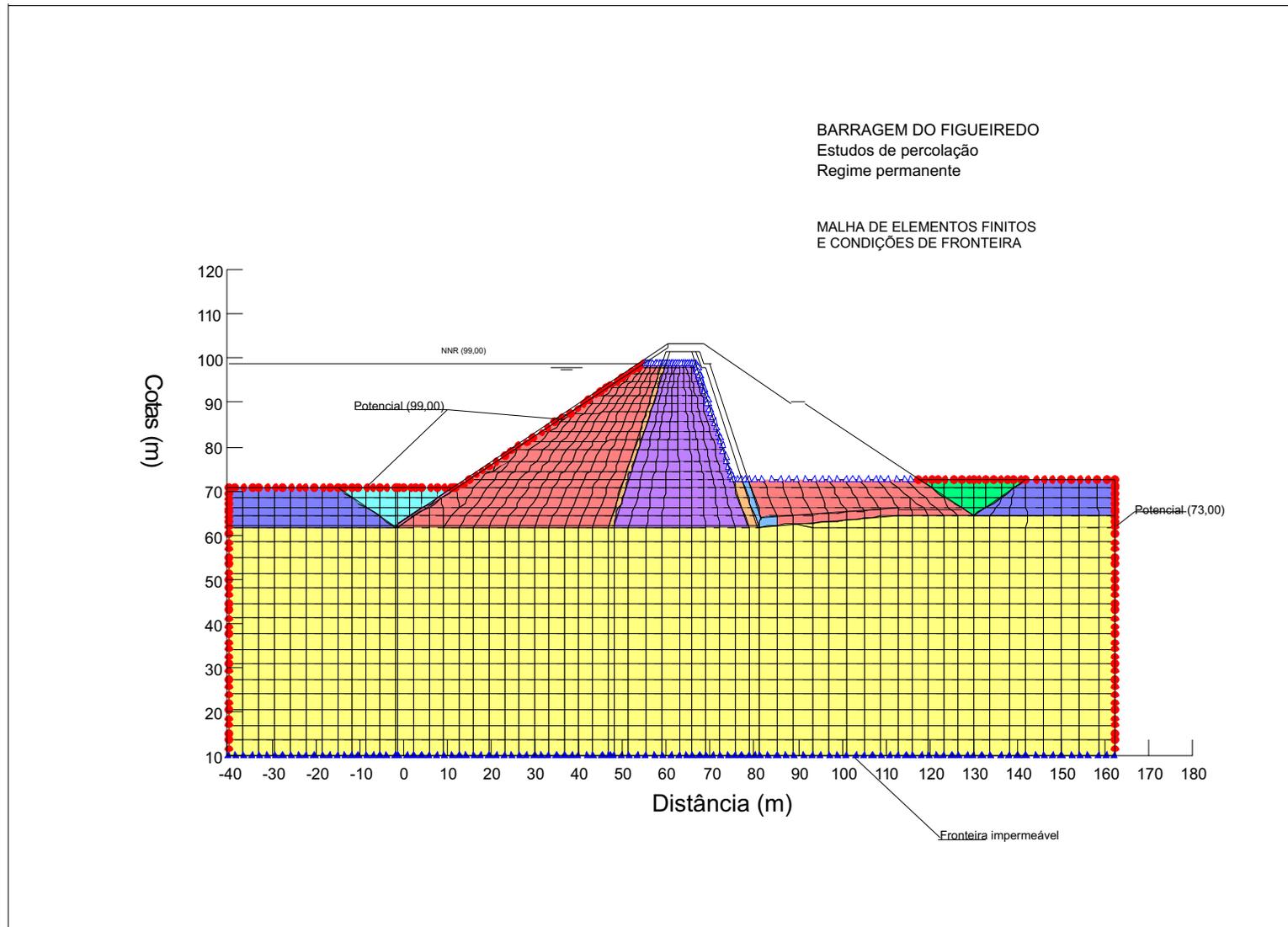
#### **5.4.4.3 – Permeabilidade dos materiais**

Os valores das permeabilidade atribuídas aos diversos materiais – terreno de fundação e aterro da barragem - foram baseados, designadamente, nos resultados da prospeção geotécnica efetuada (Capítulos 4 e 5.3).

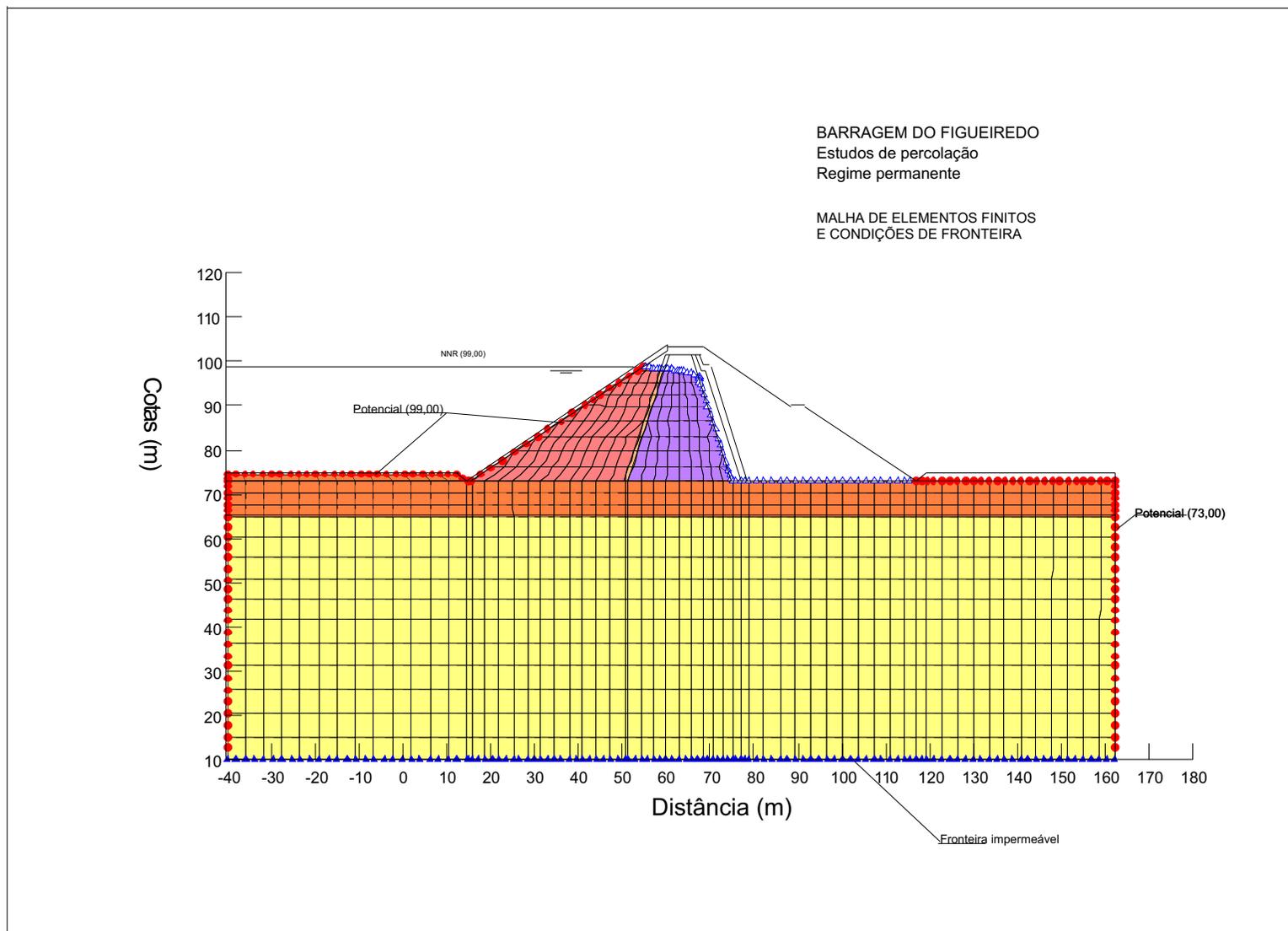
Os coeficientes de permeabilidade médios adotados para os diferentes materiais resumem-se no Quadro 5.25.

Os coeficientes de permeabilidade atribuídos, quer aos maciços estabilizadores quer aos filtros, foram baseados nas granulometrias respectivas e em correlações empíricas com os coeficientes de permeabilidade, bem como em resultados disponíveis na bibliografia relativos a materiais com características semelhantes.

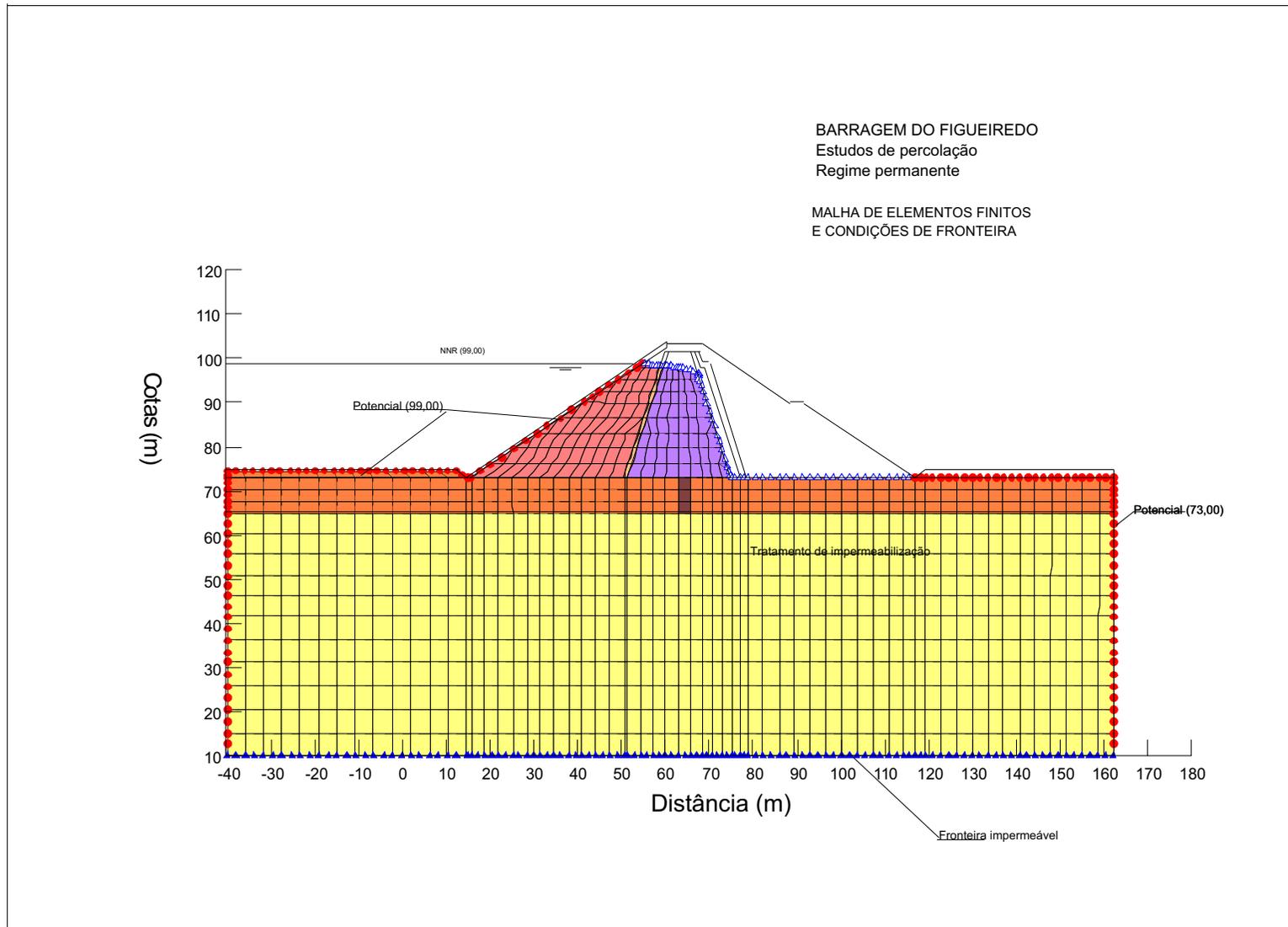
**Fig. 5.31 - Malha de elementos finitos e condições de fronteira. Perfil 10'**



**Fig. 5.32 - Malha de elementos finitos e condições de fronteira. Perfil P9.**



**Fig. 5.33 - Malha de elementos finitos e condições de fronteira. Perfil P9. Tratamento de estanqueidade da fundação**



**Quadro 5.25 – Coeficientes de permeabilidade**

Material		$k_h$ (m/s)	$k_v$ (m/s)
Enrocamento de proteção a montante		$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$
Maciço estabilizador de montante		$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$
Núcleo		$5 \times 10^{-8}$	$5 \times 10^{-9}$
Filtros		$5 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$
Drenos		$1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$
Maciço estabilizador de jusante		$1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-5}$
Fundação	Perfil P10`	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$
	Perfil P9 < 8 m > 8 m de profundidade	$2 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$
		$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$
	Tratamento de impermeabil.	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$

Tal como referido foram analisados dois perfis distintos, representativos dos cenários identificados através dos trabalhos de prospeção geotécnica realizados. O perfil P10`, no que concerne à fundação, traduz a situação ocorrente em grande parte do desenvolvimento da obra e que se caracteriza por permeabilidades baixas ao longo de todo o comprimento da sondagem com valores de Lugeon inferiores a 1 e em muitos casos praticamente nulos.

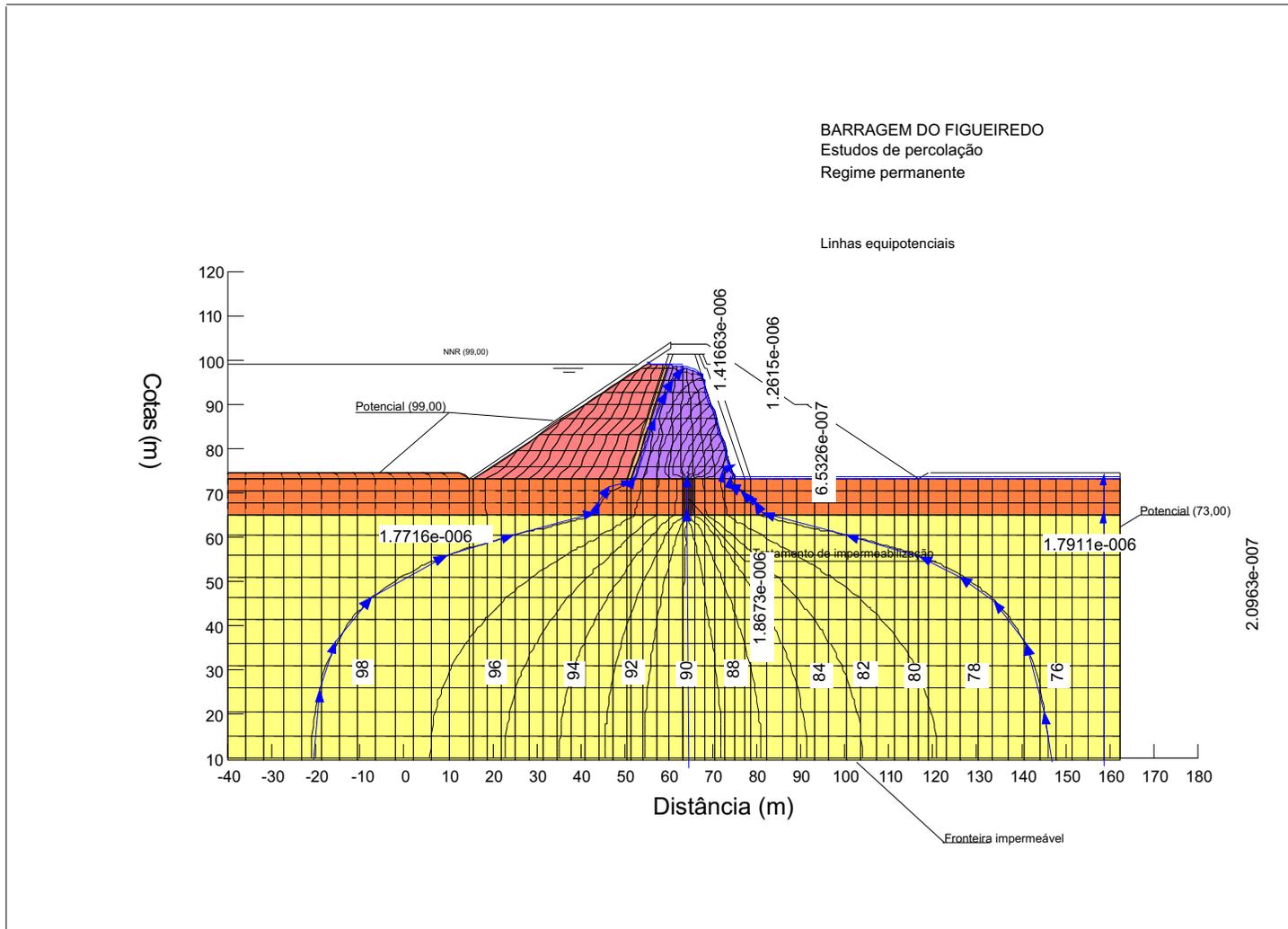
Relativamente ao perfil P9 definiram-se, com base nos resultados da prospeção geotécnica descrita no Capítulo 4, duas zonas distintas, às quais se atribuíram coeficientes de permeabilidade médios diferentes. A primeira camada, mais superficial, desenvolve-se até profundidades médias na zona central do núcleo de cerca de 8 m abaixo da fundação e é caracterizada por valores de absorção de água entre 10 e 20 unidades Lugeon. Subjacente a esta zona desenvolve-se uma outra de baixas permeabilidades onde os ensaios realizados conduziram quase sempre a absorções nulas ou mínimas.

Para esta perfil foi realizado um cálculo admitindo o tratamento de impermeabilização da camada superficial mais permeável.

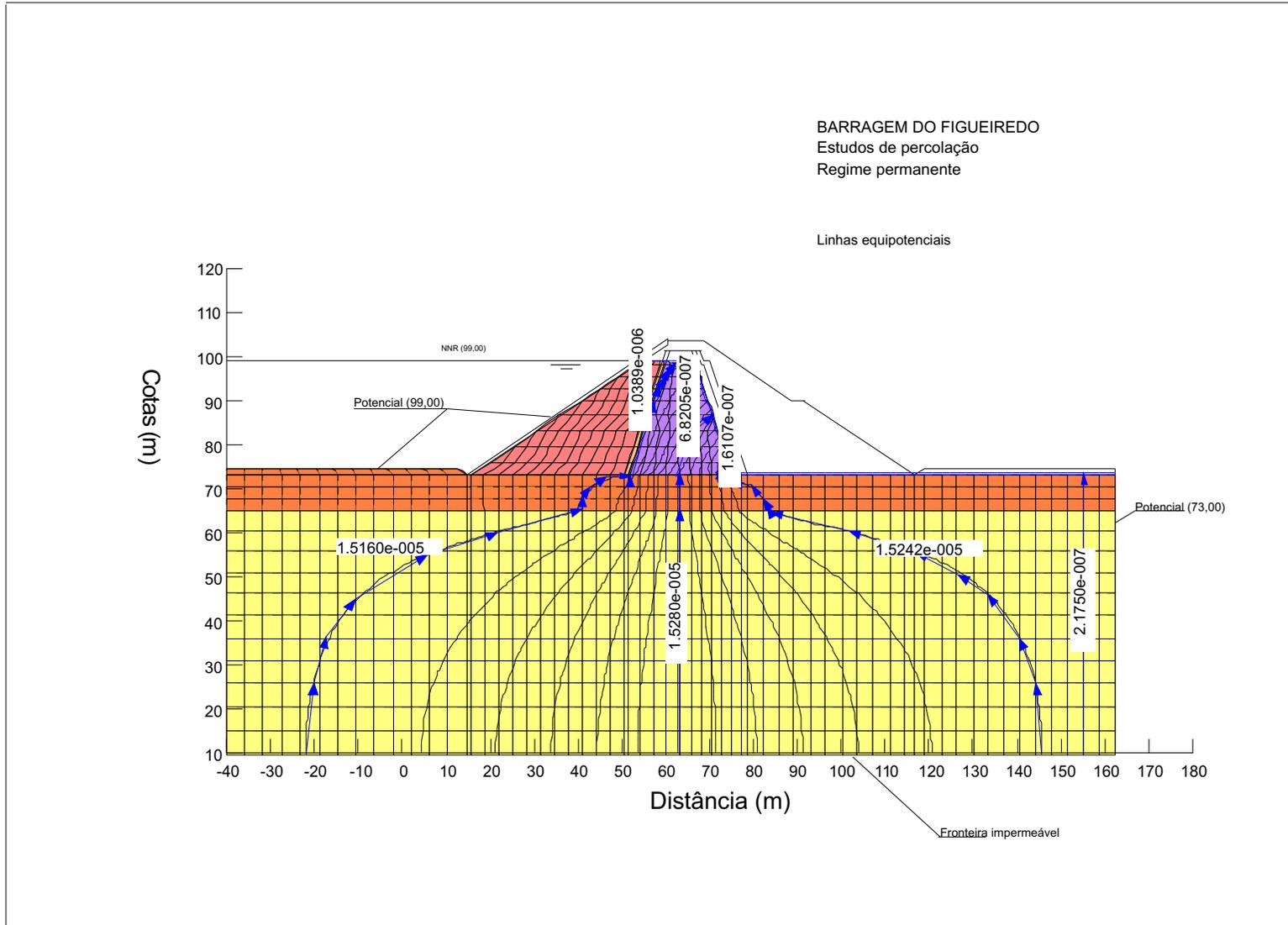
#### **5.4.4.4 – Análise dos resultados**

Dos estudos de percolação efetuados, para os dois perfis representativos do comportamento transversal da barragem, para a situação de regime permanente, resultaram os valores apresentados nas Fig. 5.34 a 5.36, onde se representam as equipotenciais ao longo da barragem e as vazões percoladas através do aterro e fundação.

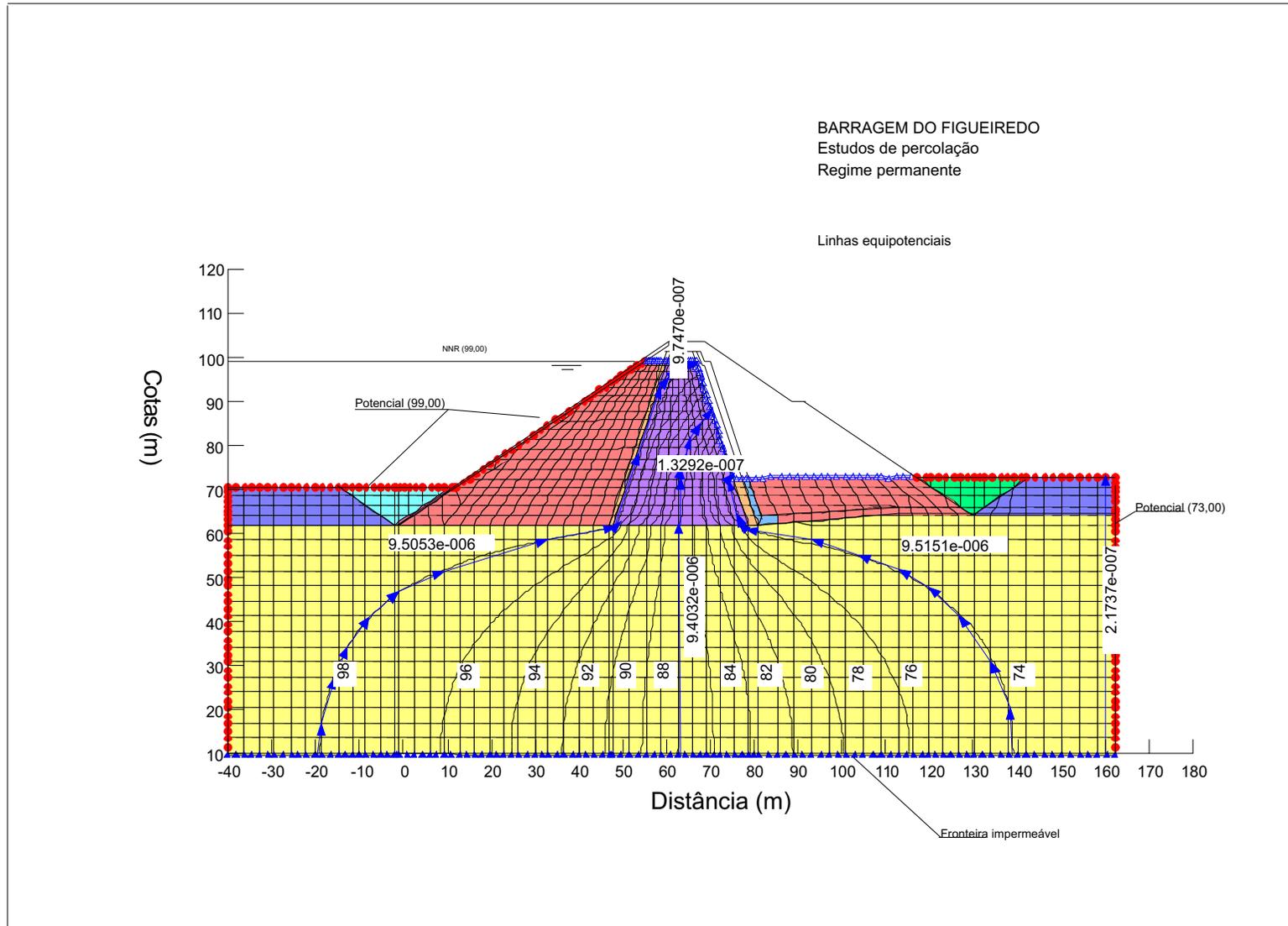
**Fig. 5.34 - Linhas equipotenciais e vazões. Perfil P9 com tratamento de impermeabilização**



**Fig. 5.35 - Linhas equipotenciais e vazões. Perfil P9**



**Fig. 5.36 - Linhas equipotenciais e vazões. Perfil P10**



Foram calculadas as vazões que afluem ao filtro chaminé pelo núcleo e ao contato com o maciço estabilizador de jusante pela fundação e as vazões que se perdem através da fundação para jusante que se resumem no Quadro 5.26.

**Quadro 5.26 – Vazões de percolação (m<sup>3</sup>/s/m)**

Hipótese	Corpo da barragem	Fundação	Fundação a jusante da barragem
<b>Perfil P10`</b>	1,42×10 <sup>-6</sup>	1,77×10 <sup>-6</sup>	2,10×10 <sup>-7</sup>
<b>Perfil P9</b>	1,04×10 <sup>-6</sup>	1,52×10 <sup>-5</sup>	2,18×10 <sup>-7</sup>
<b>Perfil P9 com tratamento impermeab.</b>	9,75×10 <sup>-7</sup>	9,51×10 <sup>-6</sup>	2,17×10 <sup>-7</sup>

A realização do tratamento de impermeabilização associado ao perfil P9 reduz os caudais percolados quer através do aterro quer através da fundação. De igual forma constata-se que a cortina de estanqueidade se traduz pela concentração das linhas equipotenciais na zona tratada e pela diminuição dos gradientes a jusante.

#### **5.4.5 – Dimensionamento da drenagem**

No dimensionamento do sistema de drenagem interna da Barragem de Figueiredo atendeu-se à diversidade das condições de permeabilidade da fundação e respectivos elementos de estanqueidade e à carga hidráulica a que a obra estará sujeita ao longo do seu desenvolvimento. Por segurança, ignorou-se a existência do tratamento de impermeabilização da fundação no dimensionamento da drenagem.

Assim, em termos de características hidráulicas da fundação podem ser distinguidas duas situações, uma em que os ensaios de injeção de água realizados ao longo do furo de sondagem forneceram valores de Lugeon inferiores a 1 e outra em que foram obtidos, nas camadas superficiais da fundação, valores superiores a 5 Lugeon. Estes dois casos foram reconhecidos de forma aleatória ao longo do desenvolvimento da obra, tendo sido devidamente considerados nos cálculos do dimensionamento da drenagem interna da obra.

No caso da Barragem de Figueiredo, o sistema de drenagem interno da obra é constituído por um filtro e um dreno sub-verticais, localizados imediatamente a jusante do núcleo, que captam a vazão que atravessa o corpo da barragem e pelas cotas inferiores do maciço de jusante que conduzirão para jusante as vazões que atravessam o núcleo e os que afluem pela fundação.

Face à configuração do vale em que se implanta a obra, com diversos boqueirões secundários, foi necessário garantir a restituição a jusante das vazões percoladas pelo corpo do aterro e da fundação, através de 10 zonas de drenagem transversal pelas cotas inferiores do maciço de

jusante de enrocamento - que nestes níveis terá percentagem de finos limitada a 5%, de modo a assegurar a sua elevada permeabilidade (assumida  $5 \times 10^{-5}$  m/s). Estas zonas de drenagem têm uma inclinação mínima, para jusante, de 2%, promovendo assim uma mais fácil restituição gravítica dos caudais captados. A localização de cada uma destas zonas é indicada no Quadro 5.27.

**Quadro 5.27 – Identificação e localização das valas de drenagem transversais**

Identificação	Perfil a Eixo da Zona
D1	P1
D2	P6
D3	P7
D4	P10
D5	P11
D6	P15
D7	P17
D8	P22
D9	P24
D10	P28

A vazão captada nestas zonas é posteriormente conduzida para as diversas linhas de água localizadas a jusante da obra através de valas escavadas a céu aberto. Nalguns casos estas valas terão já uma dimensão significativa, uma vez que se encontram localizadas nas cotas mais elevadas de linhas de água sem ligação a jusante.

As vazões que afluem ao filtro/dreno sub-verticais e às zonas de drenagem pelas cotas inferiores do enrocamento foram calculadas tendo em conta os estudos de percolação efetuados, apresentados no Capítulo 5.4.4, a carga hidráulica e a permeabilidade dos respetivos materiais - filtros, drenos e cotas inferiores do aterro de enrocamento do maciço de jusante com, respectivamente,  $5 \times 10^{-4}$  m/s,  $10^{-2}$  m/s e  $5 \times 10^{-3}$  m/s.

No dimensionamento do filtro sub-vertical adotou-se um coeficiente de segurança de 100 para ter em conta, nomeadamente, eventuais fenômenos de fissuração do núcleo. Para este elemento fundamental de segurança da obra adoptou-se uma largura de 2 m (na horizontal), significativamente superior às espessuras mínima calculadas (mesmo admitindo a totalidade de drenagem através deste elemento), sendo as dimensões adotadas justificáveis por razões inerentes à segurança da obra, seja no que se refere à sua capacidade de transporte, seja no que se refere ao seu comportamento a ações sísmicas, seja, ainda, por razões construtivas.

O dreno subvertical promove fundamentalmente a adequada transição entre os materiais de filtro e do maciço estabilizador de jusante, tendo a sua largura sido definida essencialmente por razões construtivas (1,5m na horizontal).

No que se refere à capacidade de drenagem das zonas inferiores do aterro de enrocamento do maciço, no Quadro 5.28 apresentam-se os resultados dos cálculos efetuados.

**Quadro 5.28 – Dimensionamento das zonas drenantes (escoamento transversal)**

Perfil de drenagem	Caudal de dimensionamento (m <sup>3</sup> /s)	Espessura do zona drenante (m)	Largura calculada (m)	Espessura adotada (m)	Largura adotada (m)
D1	5,04×10 <sup>-4</sup>	2,0	2,5	2,0	5
D2	11,65×10 <sup>-4</sup>	2,0	6,0	2,0	10
D3	5,19×10 <sup>-4</sup>	2,0	2,5	2,0	5
D4	10,7×10 <sup>-3</sup>	2,0	55,0	12,0	100 a 160 (*)
D5	1,85×10 <sup>-3</sup>	2,0	9,5	2,0	15
D6	5,26×10 <sup>-3</sup>	2,0	26,0	2,0	30
D7	8,73×10 <sup>-4</sup>	2,0	4,5	2,0	10
D8	7,75×10 <sup>-3</sup>	2,0	39,0	2,0	50
D9	3,75×10 <sup>-3</sup>	2,0	19,0	2,0	25
D10	7,64×10 <sup>-4</sup>	2,0	4,0	2,0	5

(\*) zona da baixa aluvionar do vale central

#### 5.4.6 - Análise do gradiente hidráulico de saída

No estudo de percolação procurou-se não só avaliar as vazões percoladas como, igualmente, proceder a uma análise do gradiente hidráulico de saída, imediatamente a jusante da barragem.

A comparação do valor desse gradiente com o do gradiente crítico estimado na fronteira de saída do escoamento, permite verificar a estabilidade à erosão interna necessária para garantir a inexistência de fenômenos de “piping”.

O valor do gradiente crítico é dado pela expressão:

$$i_{crit} = \frac{G - 1}{1 + e}$$

Daí resulta que para valores correntes de densidade (G) e de índice de vazios (e) o valor do gradiente crítico seja próximo de 1, desprezando, do lado da segurança, todas as forças de coesão nos terrenos submetidos às forças ascensionais de percolação da água.

No Quadro 5.29 indicam-se os valores dos gradientes hidráulicos de saída para as duas situações analisadas, relativas ao perfil com maior carga hidráulica e a um outro objeto de tratamento da fundação.

**Quadro 5.29 – Gradientes hidráulicos de saída**

Situação	Gradiente (i <sub>saída</sub> )
Perfil P10'	0.05
Perfil P9 (com tratamento)	0.06

Comparando os valores do gradiente hidráulico de saída obtidos com o gradiente crítico, obtêm-se os fatores de segurança relativamente à estabilidade à erosão interna indicados no Quadro 5.30.

$$FS = \frac{i_{crit}}{i_{saida}} = \frac{1}{i_{saida}}$$

**Quadro 5.30 – Fatores de segurança à erosão interna**

SITUAÇÃO	FS
Perfil P10'	22
Perfil P9 (com tratamento)	17

Os valores de fator de segurança obtidos são adequados para as condições encontradas na barragem, não se prevendo, assim, ser necessário introduzir sistemas de drenagem ou de estanqueidade adicionais para a redução do gradiente hidráulico de saída.

#### **5.4.7 - Análise do comportamento do filtro sub-vertical a jusante do núcleo**

Com a introdução de um filtro a jusante do núcleo, para além de se controlar a linha superior de percolação, pretende-se evitar um arrastamento de partículas do núcleo para o maciço estabilizador de jusante, isto é, pretende-se proteger o núcleo contra eventuais fenômenos de erosão interna que poderão pôr em causa a estabilidade da barragem.

Segundo Wolksi et al. (1970), as características granulométricas médias dos materiais que constituem o filtro devem ser tais que, atendendo ao índice de plasticidade do material protegido, se obtenha um gradiente hidráulico médio no núcleo que não deve ser excedido. Este valor poderá ser obtido em função do coeficiente de uniformidade do material de filtro ( $D_{60}/D_{10}$ ), do diâmetro do peneiro no qual passam 17% das partículas do filtro ( $D_{17}$ ) e função do índice de plasticidade do material do núcleo.

Relativamente aos materiais do filtro em análise, caracterizados por um coeficiente de uniformidade máximo de 8 e com um  $D_{17}$  variando entre 0,2 e 0,5 mm, e tendo em conta que o índice de plasticidade do material do núcleo varia, em geral, entre 8 a 15%, obteve-se um valor limite para o gradiente hidráulico do núcleo de 5. De acordo com os estudos de percolação efetuados, o gradiente hidráulico médio na zona de interface núcleo - filtro de jusante é, aproximadamente, igual a 1.0, ou seja cerca de 5 vezes inferior ao valor limite médio.

Da análise efetuada poderá concluir-se que existe um coeficiente de segurança suficiente no que respeita à proteção do núcleo contra fenômenos de erosão interna.

## **6 – ÓRGÃOS HIDRÁULICOS: DIMENSIONAMENTO E CONCEPÇÃO DAS ESTRUTURAS E EQUIPAMENTOS HIDROMECAÑICOS**

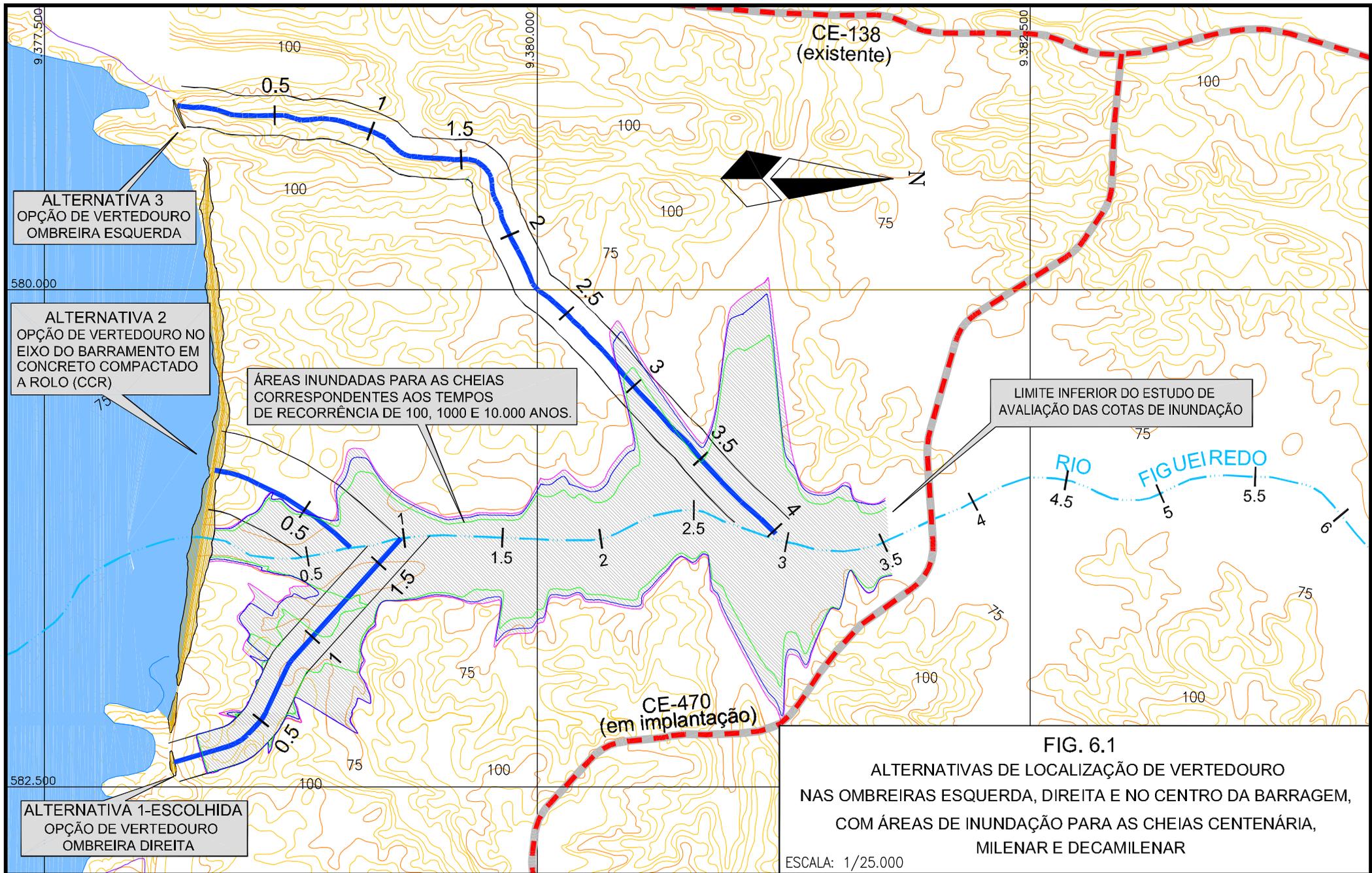
Este capítulo se relaciona especificamente ao dimensionamento final e detalhamento a nível de Projeto Básico da concepção e dimensionamento dos órgãos hidráulicos: vertedouro e tomada d'água, já contemplando-se os ajustes finais em função da locação topográfica em campo e de informações geotécnicas complementares, conforme se demonstra nas descrições a seguir.

### **6.1 – AS CONCEPÇÕES GERAIS SELECIONADAS PARA O PROJETO BÁSICO**

#### **6.1.1 – A Concepção Geral do Vertedouro**

Os condicionantes topográficos e geotécnicos associados às diferentes alternativas estudadas para a barragem, nos estudos de otimização das alternativas, evidenciaram de forma bastante clara, que dentre três alternativas de localização para o vertedouro a solução mais viável técnica e economicamente, seria a sua localização na ombreira direita, adotando-se uma concepção convencional composta de canal de aproximação escavado em rocha, controlado por soleira creager com (250m de largura) e canal rápido associado à bacia de dissipação, descarregando as cheias, já em regime tranquilo, para um canal de restituição final. A cota deste canal foi compatibilizada com o nível do remanso, calculado a partir da calha do rio a jusante, e com o terreno existente imediatamente a jusante da bacia de dissipação, a partir de onde, este canal de 1.050m, se inicia parcialmente escavado em rocha, para finalmente atingir as cotas da várzea aluvionar (73 m), na margem direita do rio, aproximadamente a 0,75 km a jusante do eixo do barramento.

De forma geral, a concepção de vertedouro convencional tipo canal associado a soleira normal, localizado na ombreira direita da barragem, evidenciou-se, claramente, como a opção mais viável, tanto no que se refere à presença de rocha em cotas e volumes adequados, à necessidade de enrocamento para a barragem, como em relação ao comprimento do canal de restituição ao leito do rio, que atingiria o total de 1,05 km, não interferindo com o novo traçado da estrada Alto Santo-Potiretama, a qual já foi desviada para jusante do barramento em função da interferência com a própria bacia hidráulica do reservatório (veja Figura 6.1).



**FIG. 6.1**  
 ALTERNATIVAS DE LOCALIZAÇÃO DE VERTEDOURO  
 NAS OMBREIRAS ESQUERDA, DIREITA E NO CENTRO DA BARRAGEM,  
 COM ÁREAS DE INUNDAÇÃO PARA AS CHEIAS CENTENÁRIA,  
 MILENAR E DECAMILENAR  
 ESCALA: 1/25.000

### **6.1.2 – A Concepção da Tomada D'água**

De forma semelhante ao vertedouro, as alternativas de localização e concepção da tomada d'água foram, basicamente, definidas pelas condições geotécnicas associadas às soluções de barragens estudadas, verificando nos estudos de otimização que a melhor solução seria localizar a tomada d'água a 30m da margem direita do rio Figueiredo, conforme indicado no Desenho em anexo, sobre ocorrência rochosa que se desenvolve paralelamente ao rio, em quase toda a extensão da galeria a ser construída.

Na concepção desta alternativa, procurou-se seguir aproximadamente o padrão das estruturas e condições operacionais adotadas na quase totalidade das tomadas d'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, através de um derivante que se previu lateralmente a tubulação principal.

A galeria com comprimento de 95,0m foi prevista em tubulação de aço carbono de 2,00m de diâmetro (espessura=1/2"), revestida em concreto estrutural para resistir a todos os esforços atuantes, ficando a tubulação de aço apenas com a função de blindagem de forma interna para o concreto.

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

Na parte de montante, onde se projetou uma torre de controle, além da grade de proteção na entrada da galeria, previu-se uma comporta vagão de segurança e ainda um stop-log que poderá viabilizar a inspeção e manutenção da tubulação a partir da torre.

## **6.2 – DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DOS ÓRGÃOS HIDRÁULICOS**

### **6.2.1 – Vertedouro**

Considerando a concepção apresentada no item 6.1.1 para o vertedouro associado à solução da barragem de seção de enrocamento com o núcleo argiloso para barragem, com a cota da soleira definida em 99,00m e volume de acumulação  $520 \times 10^6 \text{ m}^3$ , verificou-se através de várias simulações para estimativa dos volumes de escavação que a opção do vertedouro com 250,00m de comprimento corresponde, aproximadamente, à uma solução praticamente ideal, a

qual fornecerá aproximadamente o volume necessário para os enrocamentos. (veja desenho anexo A1)

Com a definição da largura do sangradouro em 250,0m, em função dos condicionantes e justificativas anteriores, apresentam-se a seguir os cálculos de dimensionamento e concepção de todos componentes do vertedouro.

a) Cálculos Hidráulicos e Definição da Geometria da Soleira:

a.1) Dados Básicos de Cheias

Tempo de Recorrência de cheia	Vazão Efluente (m <sup>3</sup> /s)	Vazão Específica para L=250m (m <sup>3</sup> /s/m)	Altura da Lâmina (m)
Centenária	1184	4,74	1,67
Milenar	1855	7,42	2,26
Decamilenar	2592	10,37	2,82

a.2) Elementos geométricos da soleira

Profundidade a montante: P=2,00m (estabelecida, com a definição do fundo do canal de aproximação de montante na cota 97,00m)

Cota da Crista da Soleira=99,00m (definida nos estudos de concepção da barragem)

Cota de restituição da soleira a jusante = 95,00 (definida em função das condições geotécnicas, que pelas sondagens já executadas indicam a cota 95,00 como o topo da rocha sã na região central da sela onde será implantado o vertedor, conforme pode ser observado nas seções apresentadas no desenho A1, apresentado como anexo).

Verificação dos coeficientes de descarga da simulação hidrológica das cheias e consolidação dos parâmetros de projeto da soleira, conforme metodologia recomendada pelo USBR.

Vazão específica de projeto: q=7,42m<sup>3</sup>/s.m (cheia milenar)

$$Q = C_m \times LH^{3/2} \left( C_m = \sqrt{0,3048} \times C_o, \text{ transformação do coeficiente para o sistema métrico} \right)$$

$$\frac{P}{H_{om}} = \frac{2,0}{2,26} = 0,88 \Rightarrow C_m = C_o \sqrt{0,3048} = 3,88 \sqrt{0,3048} \times 1,008 = 2,16 \quad (\text{o último fator}$$

corresponde ao coeficiente de ajuste para o paramento de montante da soleira inclinado 2:3).

Tendo-se:  $Q = 2,16H^{3/2} \Rightarrow H_0 = \left( \frac{q}{C_m} \right) = \left( \frac{7,42}{2,16} \right)^{2/3} = 2,28m$ ; carga a ser adotada para projeto, que difere dos resultados da simulação (para  $Q_{1000} \rightarrow H_0=2,26$ ) dos estudos de cheias em apenas 0,02 m (0,7%).

Parâmetros geométricos de construção da soleira (veja Fig. 6.2):

Velocidade de aproximação:

$$V_a = \frac{q}{(P + H_0 - h_a)} = \frac{7,42m^3 / sm}{(2,0 + 2,28 - 0)m} = 1,73m / s \text{ (primeira aproximação)}$$

$$h_a^n = \frac{V_a^2}{2g} = \frac{1,73^2}{2g} = 0,15m$$

$$V_a \frac{7,42m^{3/s/m}}{(2,0 + 2,28 - 0,15)m} = 1,80m / s \Rightarrow h_a = \frac{V_a^2}{2g} = \frac{1,80^2}{2g} = 0,165m$$

$$\frac{h_a}{H_0} = \frac{0,165}{2,28} = 0,072 \text{ (coeficiente para entrada nos gráficos dos parâmetros geométricos da}$$

soleira para talude de montante 2:3; Fig 9,21-páginas 366 e 367 do Design of Small Dams- USBR), onde  $y = -K H_0 \left( \frac{x}{H_0} \right)^n = 0,28 X^{1,768}$ ; define a geometria da superfície da soleira,

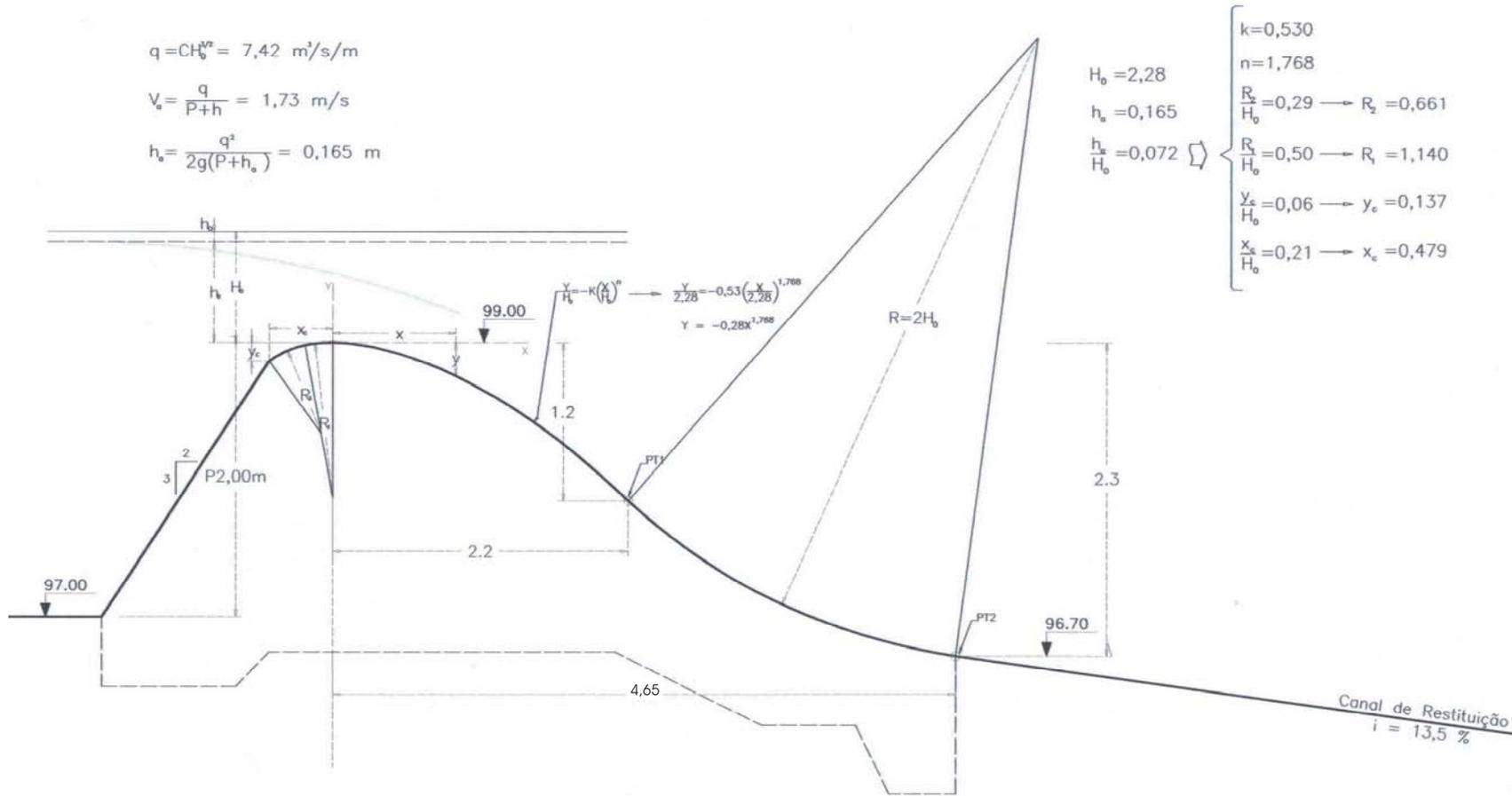
conforme indicado na Figura 6.2, onde constam também, os demais parâmetros construtivos definidos conforme recomendação da citada publicação.

#### b) Cálculos Hidráulicos do Canal de descarga

Este canal é composto por dois trechos de declividades diferentes. O primeiro trecho inicia na cota 96,70, estende-se por 141,6 m, com declividade igual a 120m/km e termina na cota 78,0. A largura inicial é de 250m, variando uniformemente ao longo do trecho até a largura de 200m.

O segundo trecho apresenta largura constante de 200m, declividade de 200m/km, iniciando na cota 78 e terminando na cota 70,5, com comprimento total de 37,5 m. O final do Canal de Descarga coincide com o início da Bacia de Dissipação.

Figura 6.2 – Características Geométricas da Soleira do Vertedouro



No Canal de Descarga, para as vazões de 1.855 m<sup>3</sup>/s e 2.592 m<sup>3</sup>/s, estabelece-se um escoamento do tipo supercrítico. Para o cálculo da linha d'água deste escoamento procedeu-se à construção da curva de remanso estabelecida, de montante para jusante, dada a natureza do escoamento.

Os cálculos, conforme demonstrados nos quadros a seguir, foram realizados para Coeficiente de Manning  $n = 0,025$  e  $n = 0,040$ . As alturas iniciais foram calculadas para Equação da Continuidade a partir das vazões e das alturas de vertimento.

Os Quadros 6.1 e 6.2 mostram o cálculo da linha d'água para  $n = 0,025$  e  $n = 0,040$ , respectivamente, tomando-se a vazão milenar igual a 1855 m<sup>3</sup>/s.

Os Quadros 6.3 e 6.4 mostram o cálculo da linha d'água para  $n = 0,025$  e  $n = 0,040$ , respectivamente, traçando-se a vazão decamilenar igual a 2.292 m<sup>3</sup>/s

No Quadro 6.5, estão mostrados, para a vazão de 1855 m<sup>3</sup>/s as cotas reais para: altura crítica, altura normal, linha d'água e linha de energia, para ambos os coeficientes utilizados na Figura 6.3, estes dados estão mostrados graficamente.

No Quadro 6.6, estão mostrados, para a vazão de 2.592 m<sup>3</sup>/s, as cotas reais para altura crítica, altura normal, linha d'água e linha de energia, para ambos os coeficientes utilizados na Figura 6.4, estes dados estão mostrados graficamente.

#### BACIA DE DISSIPACÃO

A altura da entrada ( $y_1$ ) na Bacia de Dissipação e a respectiva altura conjugada ( $y_2$ ) do ressalto hidráulico que se forma, foram:

- $Q = 1.855 \text{ m}^3/\text{s}$ 
  - $n = 0,025 \rightarrow y_1 = 0,70\text{m} \text{ e } y_2 = 4,76\text{m}$
  - $n = 0,040 \rightarrow y_1 = 0,91\text{m} \text{ e } y_2 = 3,99\text{m}$
- $Q = 2.592 \text{ m}^3/\text{s}$ 
  - $n = 0,025 \rightarrow y_1 = 0,86\text{m} \text{ e } y_2 = 6,02\text{m}$
  - $n = 0,040 \rightarrow y_1 = 1,12\text{m} \text{ e } y_2 = 5,06\text{m}$

**Quadro 6.1 – Cálculo da Curva de Remanso do Canal de Descarga para  $n= 0,025$  e  $Q= 1855 \text{ m}^3/\text{s}$**

Cota de Fundo	Dist	Decl	Larg	Vazão Específica	Altura Crítica	Altura Normal	Altura Linha d'água	Variação da linha d'água	Decl da linha d'água	Froude	Energia
z	x	i	B	q	$y_c$	$y_N$	$y_{real}$	dy/dx	$i_{real}$	Fr	He
(m)	(m)	(m/m)	(m)	( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )	(m)	(m)	(m)		(m/m)		(m)
96,5	0	0,135	250,0	7,4	1,778	0,689	0,782	-0,0043		3,65	5,38
95,8	5	0,135	248,2	7,5	1,786	0,692	0,760	-0,0030	0,139	3,77	5,69
95,2	10	0,135	246,5	7,5	1,795	0,695	0,745	-0,0022	0,138	3,87	5,95
94,5	15	0,135	244,7	7,6	1,803	0,698	0,734	-0,0015	0,137	3,95	6,17
93,8	20	0,135	242,9	7,6	1,812	0,701	0,727	-0,0011	0,137	4,01	6,36
93,1	25	0,135	241,2	7,7	1,821	0,704	0,721	-0,0007	0,136	4,06	6,52
92,5	30	0,135	239,4	7,7	1,830	0,707	0,718	-0,0004	0,136	4,10	6,66
91,8	35	0,135	237,6	7,8	1,839	0,710	0,716	-0,0002	0,135	4,13	6,78
91,1	40	0,135	235,9	7,9	1,848	0,714	0,715	0,0000	0,135	4,16	6,89
90,4	45	0,135	234,1	7,9	1,857	0,717	0,715	0,0001	0,135	4,18	6,99
89,8	50	0,135	232,3	8,0	1,867	0,720	0,715	0,0002	0,135	4,20	7,08
89,1	55	0,135	230,6	8,0	1,876	0,723	0,716	0,0003	0,135	4,22	7,16
88,4	60	0,135	228,8	8,1	1,886	0,727	0,717	0,0004	0,135	4,23	7,23
87,7	65	0,135	227,0	8,2	1,896	0,730	0,719	0,0004	0,135	4,25	7,30
87,1	70	0,135	225,3	8,2	1,905	0,734	0,721	0,0005	0,135	4,26	7,37
86,4	75	0,135	223,5	8,3	1,915	0,737	0,723	0,0005	0,135	4,27	7,44
85,7	80	0,135	221,8	8,4	1,926	0,741	0,726	0,0005	0,135	4,28	7,50
85,0	85	0,135	220,0	8,4	1,936	0,744	0,729	0,0006	0,134	4,29	7,56
84,4	90	0,135	218,2	8,5	1,946	0,748	0,731	0,0006	0,134	4,29	7,62
83,7	95	0,135	216,5	8,6	1,957	0,752	0,734	0,0006	0,134	4,30	7,68
83,0	100	0,135	214,7	8,6	1,968	0,755	0,737	0,0006	0,134	4,31	7,74
82,4	105	0,120	212,9	8,7	1,979	0,759	0,740	0,0006	0,119	4,31	7,80
81,8	110	0,120	211,2	8,8	1,990	0,763	0,743	0,0006	0,119	4,32	7,87
81,2	115	0,120	209,4	8,9	2,001	0,767	0,746	0,0006	0,119	4,33	7,93
80,6	120	0,120	207,6	8,9	2,012	0,771	0,749	0,0006	0,119	4,34	8,00
80,0	125	0,120	205,9	9,0	2,024	0,775	0,753	0,0007	0,119	4,34	8,07
79,4	130	0,120	204,1	9,1	2,035	0,779	0,756	0,0007	0,119	4,35	8,13
78,8	135	0,120	202,3	9,2	2,047	0,783	0,759	0,0007	0,119	4,36	8,20
78,2	140	0,120	200,0	9,3	2,063	0,787	0,763	0,0007	0,119	4,38	8,31
77,9	142,7	0,120	199,0	9,3	2,069	0,788	0,765	0,0007	0,119	4,38	8,34
77,1	146,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,676	0,767	-0,0037	0,199	4,70	8,22
76,1	151,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,676	0,749	-0,0029	0,204	4,81	8,58
75,1	156,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,676	0,734	-0,0023	0,203	4,91	8,88
74,1	161,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,676	0,723	-0,0018	0,202	4,98	9,12
73,1	166,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,676	0,714	-0,0014	0,202	5,05	9,33
72,1	171,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,676	0,707	-0,0011	0,201	5,10	9,49
71,1	176,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,676	0,701	-0,0009	0,201	5,14	9,63
70,6	179,1	0,200	200,0	9,3	2,063	0,676	0,699	-0,0008	0,201	5,16	9,69

**Quadro 6.2 – Cálculo da Curva do Remanso do Canal de Descarga para  $n= 0,040$  e  $Q= 1855 \text{ m}^3/\text{s}$**

Cota de Fundo	Dist	Decl	Larg	Vazão Específica	Altura Crítica	Altura Normal	Altura Linha d'água	Varição da linha d'água	Decl da linha d'água	Froude	Energia
z	x	i	B	q	$y_c$	$y_N$	$y_{real}$	dy/dx	$i_{real}$	Fr	He
(m)	(m)	(m/m)	(m)	( $\text{m}^3/\text{s/m}$ )	(m)	(m)	(m)		(m/m)		(m)
96,5	0	0,135	250,0	7,4	1,778	0,914	0,782	0,0086		3,17	5,38
95,8	5	0,135	248,2	7,5	1,786	0,918	0,825	0,0063	0,126	3,02	5,01
95,2	10	0,135	246,5	7,5	1,795	0,922	0,856	0,0046	0,129	2,92	4,80
94,5	15	0,135	244,7	7,6	1,803	0,926	0,879	0,0033	0,130	2,86	4,67
93,8	20	0,135	242,9	7,6	1,812	0,930	0,896	0,0025	0,132	2,82	4,60
93,1	25	0,135	241,2	7,7	1,821	0,934	0,908	0,0019	0,133	2,80	4,57
92,5	30	0,135	239,4	7,7	1,830	0,938	0,918	0,0015	0,133	2,78	4,55
91,8	35	0,135	237,6	7,8	1,839	0,943	0,925	0,0013	0,134	2,78	4,56
91,1	40	0,135	235,9	7,9	1,848	0,947	0,932	0,0011	0,134	2,77	4,57
90,4	45	0,135	234,1	7,9	1,857	0,951	0,937	0,0010	0,134	2,77	4,59
89,8	50	0,135	232,3	8,0	1,867	0,956	0,942	0,0010	0,134	2,77	4,61
89,1	55	0,135	230,6	8,0	1,876	0,960	0,947	0,0009	0,134	2,77	4,63
88,4	60	0,135	228,8	8,1	1,886	0,964	0,952	0,0009	0,134	2,77	4,66
87,7	65	0,135	227,0	8,2	1,896	0,969	0,956	0,0009	0,134	2,77	4,68
87,1	70	0,135	225,3	8,2	1,905	0,974	0,961	0,0009	0,134	2,78	4,71
86,4	75	0,135	223,5	8,3	1,915	0,978	0,965	0,0009	0,134	2,78	4,74
85,7	80	0,135	221,8	8,4	1,926	0,983	0,970	0,0009	0,134	2,78	4,77
85,0	85	0,135	220,0	8,4	1,936	0,988	0,974	0,0009	0,134	2,78	4,80
84,4	90	0,135	218,2	8,5	1,946	0,992	0,979	0,0009	0,134	2,78	4,83
83,7	95	0,135	216,5	8,6	1,957	0,997	0,983	0,0009	0,134	2,79	4,86
83,0	100	0,135	214,7	8,6	1,968	1,002	0,988	0,0010	0,134	2,79	4,89
82,4	105	0,120	212,9	8,7	1,979	1,007	0,993	0,0009	0,119	2,79	4,92
81,8	110	0,120	211,2	8,8	1,990	1,012	0,997	0,0009	0,119	2,80	4,96
81,2	115	0,120	209,4	8,9	2,001	1,018	1,002	0,0009	0,119	2,80	4,99
80,6	120	0,120	207,6	8,9	2,012	1,023	1,006	0,0010	0,119	2,80	5,03
80,0	125	0,120	205,9	9,0	2,024	1,028	1,011	0,0010	0,119	2,81	5,06
79,4	130	0,120	204,1	9,1	2,035	1,034	1,016	0,0010	0,119	2,81	5,10
78,8	135	0,120	202,3	9,2	2,047	1,039	1,021	0,0010	0,119	2,81	5,13
78,2	140	0,120	200,6	9,2	2,059	1,045	1,026	0,0010	0,119	2,82	5,17
77,9	142,7	0,120	200,0	9,3	2,063	1,046	1,029	0,0010	0,119	2,81	5,17
77,1	146,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,897	1,033	-0,0107	0,199	3,03	5,15
76,1	151,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,897	0,979	-0,0060	0,211	3,20	5,56
75,1	156,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,897	0,949	-0,0037	0,206	3,30	5,82
74,1	161,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,897	0,930	-0,0023	0,204	3,36	6,00
73,1	166,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,897	0,919	-0,0015	0,202	3,40	6,12
72,1	171,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,897	0,911	-0,0010	0,201	3,43	6,19
71,1	176,6	0,200	200,0	9,3	2,063	0,897	0,907	-0,0006	0,201	3,45	6,25
70,6	179,1	0,200	200,0	9,3	2,063	0,897	0,905	-0,0005	0,201	3,46	6,26

**Quadro 6.3 - Cálculo da Curva de Remanso do Canal de Descarga para  $n= 0,025$  e  $Q= 2592 \text{ m}^3/\text{s}$**

Cota de Fundo	Dist	Decl	Larg	Vazão Específica	Altura Crítica	Altura Normal	Altura Linha d'água	Varição da linha d'água	Decl da linha d'água	Froude	Energia
z	x	i	B	q	$y_c$	$y_N$	$y_{real}$	$dy/dx$	$i_{real}$	Fr	He
(m)	(m)	(m/m)	(m)	( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )	(m)	(m)	(m)		(m/m)		(m)
96,5	0	0,135	250,0	10,4	2,222	0,843	1,130	-0,0128		3,19	5,43
95,8	5	0,135	248,2	10,4	2,232	0,846	1,066	-0,0089	0,148	3,40	5,96
95,2	10	0,135	246,5	10,5	2,243	0,850	1,022	-0,0065	0,144	3,57	6,43
94,5	15	0,135	244,7	10,6	2,254	0,854	0,989	-0,0049	0,141	3,70	6,84
93,8	20	0,135	242,9	10,7	2,265	0,857	0,965	-0,0037	0,140	3,81	7,20
93,1	25	0,135	241,2	10,7	2,276	0,861	0,947	-0,0028	0,139	3,91	7,52
92,5	30	0,135	239,4	10,8	2,287	0,865	0,933	-0,0022	0,138	3,99	7,81
91,8	35	0,135	237,6	10,9	2,298	0,869	0,922	-0,0017	0,137	4,06	8,07
91,1	40	0,135	235,9	11,0	2,310	0,873	0,913	-0,0013	0,137	4,11	8,30
90,4	45	0,135	234,1	11,1	2,321	0,877	0,907	-0,0009	0,136	4,16	8,51
89,8	50	0,135	232,3	11,2	2,333	0,881	0,902	-0,0006	0,136	4,21	8,70
89,1	55	0,135	230,6	11,2	2,345	0,885	0,899	-0,0004	0,136	4,25	8,87
88,4	60	0,135	228,8	11,3	2,357	0,889	0,897	-0,0002	0,135	4,28	9,03
87,7	65	0,135	227,0	11,4	2,369	0,893	0,896	-0,0001	0,135	4,31	9,18
87,1	70	0,135	225,3	11,5	2,382	0,897	0,895	0,0001	0,135	4,33	9,32
86,4	75	0,135	223,5	11,6	2,394	0,902	0,896	0,0002	0,135	4,36	9,45
85,7	80	0,135	221,8	11,7	2,407	0,906	0,897	0,0003	0,135	4,38	9,57
85,0	85	0,135	220,0	11,8	2,420	0,910	0,898	0,0003	0,135	4,39	9,68
84,4	90	0,135	218,2	11,9	2,433	0,915	0,900	0,0004	0,135	4,41	9,79
83,7	95	0,135	216,5	12,0	2,446	0,919	0,902	0,0005	0,135	4,42	9,90
83,0	100	0,135	214,7	12,1	2,459	0,924	0,904	0,0005	0,135	4,44	10,00
82,4	105	0,120	212,9	12,2	2,473	0,928	0,907	0,0005	0,119	4,45	10,10
81,8	110	0,120	211,2	12,3	2,487	0,933	0,909	0,0006	0,119	4,46	10,21
81,2	115	0,120	209,4	12,4	2,501	0,938	0,912	0,0006	0,119	4,48	10,31
80,6	120	0,120	207,6	12,5	2,515	0,943	0,915	0,0006	0,119	4,49	10,41
80,0	125	0,120	205,9	12,6	2,529	0,948	0,918	0,0007	0,119	4,50	10,51
79,4	130	0,120	204,1	12,7	2,544	0,953	0,922	0,0007	0,119	4,51	10,61
78,8	135	0,120	202,3	12,8	2,558	0,958	0,925	0,0007	0,119	4,52	10,71
78,2	140	0,120	200,6	12,9	2,573	0,963	0,929	0,0008	0,119	4,53	10,81
77,9	142,7	0,120	200,0	13,0	2,578	0,964	0,931	0,0007	0,119	4,53	10,82
77,1	146,6	0,200	200,0	13,0	2,578	0,827	0,934	-0,0033	0,199	4,88	10,77
76,1	151,6	0,200	200,0	13,0	2,578	0,827	0,917	-0,0027	0,203	4,96	11,11
75,1	156,6	0,200	200,0	13,0	2,578	0,827	0,903	-0,0023	0,203	5,04	11,41
74,1	161,6	0,200	200,0	13,0	2,578	0,827	0,892	-0,0019	0,202	5,10	11,67
73,1	166,6	0,200	200,0	13,0	2,578	0,827	0,882	-0,0016	0,202	5,16	11,89
72,1	171,6	0,200	200,0	13,0	2,578	0,827	0,874	-0,0014	0,202	5,21	12,09
71,1	176,6	0,200	200,0	13,0	2,578	0,827	0,867	-0,0012	0,201	5,25	12,26
70,6	179,1	0,200	200,0	13,0	2,578	0,827	0,864	-0,0011	0,201	5,27	12,33

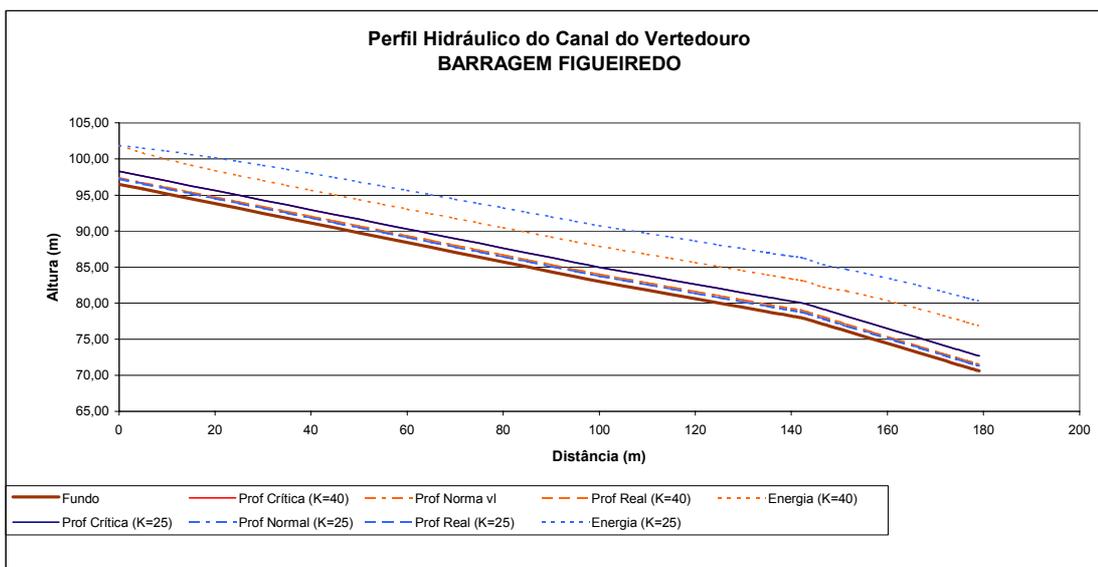
**Quadro 6.4 – Cálculo da Curva de Demanda do Canal de Descarga para  $n= 0,040$  e  $Q= 2592 \text{ m}^3/\text{s}$**

Cota de Fundo	Dist	Decl	Larg	Vazão Específica	Altura Crítica	Altura Normal	Altura Linha d'água	Varição da linha d'água	Decl da linha d'água	Froude	Energia
z	x	i	B	q	$y_c$	$y_N$	$y_{real}$	$dy/dx$	$i_{real}$	Fr	He
(m)	(m)	(m/m)	(m)	( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )	(m)	(m)	(m)		(m/m)		(m)
96,5	0	0,135	250,0	10,4	2,222	1,118	1,130	-0,0007		2,77	5,43
95,8	5	0,135	248,2	10,4	2,232	1,123	1,126	-0,0002	0,136	2,79	5,51
95,2	10	0,135	246,5	10,5	2,243	1,128	1,125	0,0001	0,135	2,81	5,58
94,5	15	0,135	244,7	10,6	2,254	1,133	1,126	0,0004	0,135	2,82	5,64
93,8	20	0,135	242,9	10,7	2,265	1,138	1,128	0,0005	0,135	2,83	5,69
93,1	25	0,135	241,2	10,7	2,276	1,143	1,131	0,0007	0,134	2,84	5,74
92,5	30	0,135	239,4	10,8	2,287	1,148	1,134	0,0008	0,134	2,85	5,78
91,8	35	0,135	237,6	10,9	2,298	1,153	1,138	0,0008	0,134	2,85	5,83
91,1	40	0,135	235,9	11,0	2,310	1,158	1,142	0,0009	0,134	2,86	5,87
90,4	45	0,135	234,1	11,1	2,321	1,163	1,146	0,0009	0,134	2,86	5,90
89,8	50	0,135	232,3	11,2	2,333	1,169	1,151	0,0010	0,134	2,86	5,94
89,1	55	0,135	230,6	11,2	2,345	1,174	1,156	0,0010	0,134	2,87	5,98
88,4	60	0,135	228,8	11,3	2,357	1,180	1,161	0,0010	0,134	2,87	6,02
87,7	65	0,135	227,0	11,4	2,369	1,185	1,166	0,0010	0,134	2,87	6,06
87,1	70	0,135	225,3	11,5	2,382	1,191	1,171	0,0010	0,134	2,88	6,10
86,4	75	0,135	223,5	11,6	2,394	1,197	1,176	0,0011	0,134	2,88	6,14
85,7	80	0,135	221,8	11,7	2,407	1,202	1,182	0,0011	0,134	2,88	6,17
85,0	85	0,135	220,0	11,8	2,420	1,208	1,187	0,0011	0,134	2,88	6,21
84,4	90	0,135	218,2	11,9	2,433	1,214	1,192	0,0011	0,134	2,89	6,25
83,7	95	0,135	216,5	12,0	2,446	1,220	1,198	0,0011	0,134	2,89	6,30
83,0	100	0,135	214,7	12,1	2,459	1,226	1,204	0,0011	0,134	2,89	6,34
82,4	105	0,120	212,9	12,2	2,473	1,232	1,209	0,0010	0,119	2,90	6,38
81,8	110	0,120	211,2	12,3	2,487	1,239	1,215	0,0011	0,119	2,90	6,43
81,2	115	0,120	209,4	12,4	2,501	1,245	1,220	0,0011	0,119	2,91	6,47
80,6	120	0,120	207,6	12,5	2,515	1,251	1,225	0,0011	0,119	2,91	6,52
80,0	125	0,120	205,9	12,6	2,529	1,258	1,231	0,0012	0,119	2,91	6,57
79,4	130	0,120	204,1	12,7	2,544	1,264	1,237	0,0012	0,119	2,92	6,62
78,8	135	0,120	202,3	12,8	2,558	1,271	1,243	0,0012	0,119	2,92	6,66
78,2	140	0,120	200,6	12,9	2,573	1,278	1,249	0,0012	0,119	2,92	6,71
77,9	142,7	0,120	200,0	13,0	2,578	1,280	1,252	0,0012	0,119	2,92	6,72
77,1	146,6	0,200	200,0	13,0	2,578	1,097	1,257	-0,0095	0,199	3,14	6,68
76,1	151,6	0,200	200,0	13,0	2,578	1,097	1,209	-0,0064	0,210	3,27	7,07
75,1	156,6	0,200	200,0	13,0	2,578	1,097	1,177	-0,0044	0,206	3,36	7,36
74,1	161,6	0,200	200,0	13,0	2,578	1,097	1,155	-0,0031	0,204	3,42	7,57
73,1	166,6	0,200	200,0	13,0	2,578	1,097	1,140	-0,0022	0,203	3,47	7,74
72,1	171,6	0,200	200,0	13,0	2,578	1,097	1,129	-0,0016	0,202	3,50	7,86
71,1	176,6	0,200	200,0	13,0	2,578	1,097	1,120	-0,0012	0,202	3,53	7,95
70,6	179,1	0,200	200,0	13,0	2,578	1,097	1,117	-0,0010	0,201	3,54	7,98

**Quadro 6.5 – Cotas Reais do Escoamento no Canal de Descarga para Q= 1855 m³/s**

n=0,040							n=0,025						
Dist	Cota de Fundo	Cota da Altura Crítica	Cota da Altura Normal	Cota da Linha d'água	Froude	Cota da Energia	Dist	Cota de Fundo	Cota da Altura Crítica	Cota da Altura Normal	Cota da Linha d'água	Froude	Cota da Energia
x	z	y <sub>c</sub>	y <sub>N</sub>	y <sub>real</sub>	Fr	He	x	z	y <sub>c</sub>	y <sub>N</sub>	y <sub>real</sub>	Fr	He
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m)
0,000	96,50	98,28	97,41	97,28	3,17	101,88	0,00	96,50	98,28	97,19	97,28	3,65	101,88
5,000	95,83	97,61	96,74	96,65	3,02	100,84	5,00	95,83	97,61	96,52	96,59	3,77	101,51
10,000	95,15	96,94	96,07	96,01	2,92	99,95	10,00	95,15	96,94	95,84	95,90	3,87	101,10
15,000	94,48	96,28	95,40	95,35	2,86	99,15	15,00	94,48	96,28	95,17	95,21	3,95	100,65
20,000	93,80	95,61	94,73	94,70	2,82	98,40	20,00	93,80	95,61	94,50	94,53	4,01	100,16
25,000	93,13	94,95	94,06	94,03	2,80	97,69	25,00	93,13	94,95	93,83	93,85	4,06	99,65
30,000	92,45	94,28	93,39	93,37	2,78	97,00	30,00	92,45	94,28	93,16	93,17	4,10	99,11
35,000	91,78	93,61	92,72	92,70	2,78	96,33	35,00	91,78	93,61	92,49	92,49	4,13	98,56
40,000	91,10	92,95	92,05	92,03	2,77	95,67	40,00	91,10	92,95	91,81	91,81	4,16	97,99
45,000	90,43	92,28	91,38	91,36	2,77	95,01	45,00	90,43	92,28	91,14	91,14	4,18	97,41
50,000	89,75	91,62	90,71	90,69	2,77	94,36	50,00	89,75	91,62	90,47	90,46	4,20	96,83
55,000	89,08	90,95	90,03	90,02	2,77	93,70	55,00	89,08	90,95	89,80	89,79	4,22	96,23
60,000	88,40	90,29	89,36	89,35	2,77	93,06	60,00	88,40	90,29	89,13	89,12	4,23	95,63
65,000	87,73	89,62	88,69	88,68	2,77	92,41	65,00	87,73	89,62	88,46	88,44	4,25	95,03
70,000	87,05	88,96	88,02	88,01	2,78	91,76	70,00	87,05	88,96	87,78	87,77	4,26	94,42
75,000	86,38	88,29	87,35	87,34	2,78	91,11	75,00	86,38	88,29	87,11	87,10	4,27	93,81
80,000	85,70	87,63	86,68	86,67	2,78	90,47	80,00	85,70	87,63	86,44	86,43	4,28	93,20
85,000	85,03	86,96	86,01	86,00	2,78	89,82	85,00	85,03	86,96	85,77	85,75	4,29	92,59
90,000	84,35	86,30	85,34	85,33	2,78	89,18	90,00	84,35	86,30	85,10	85,08	4,29	91,97
95,000	83,68	85,63	84,67	84,66	2,79	88,53	95,00	83,68	85,63	84,43	84,41	4,30	91,36
100,000	83,00	84,97	84,00	83,99	2,79	87,89	100,00	83,00	84,97	83,76	83,74	4,31	90,74
105,000	82,40	84,38	83,41	83,39	2,79	87,32	105,00	82,40	84,38	83,16	83,14	4,31	90,20
110,000	81,80	83,79	82,81	82,80	2,80	86,76	110,00	81,80	83,79	82,56	82,54	4,32	89,67
115,000	81,20	83,20	82,22	82,20	2,80	86,19	115,00	81,20	83,20	81,97	81,95	4,33	89,13
120,000	80,60	82,61	81,62	81,61	2,80	85,63	120,00	80,60	82,61	81,37	81,35	4,34	88,60
125,000	80,00	82,02	81,03	81,01	2,81	85,06	125,00	80,00	82,02	80,77	80,75	4,34	88,07
130,000	79,40	81,44	80,43	80,42	2,81	84,50	130,00	79,40	81,44	80,18	80,16	4,35	87,53
135,000	78,80	80,85	79,84	79,82	2,81	83,93	135,00	78,80	80,85	79,58	79,56	4,36	87,00
140,000	78,20	80,26	79,24	79,23	2,82	83,37	140,00	78,20	80,26	78,99	78,96	4,38	86,51
142,700	77,88	79,94	78,92	78,90	2,81	83,05	142,700	77,88	79,95	78,66	78,64	4,38	86,22
146,600	77,10	79,16	77,99	78,13	3,03	82,24	146,600	77,10	79,16	77,77	77,86	4,70	85,32
151,600	76,10	78,16	76,99	77,08	3,20	81,65	151,600	76,10	78,16	76,77	76,84	4,81	84,67
156,600	75,10	77,16	75,99	76,04	3,30	80,92	156,600	75,10	77,16	75,77	75,83	4,91	83,97
161,600	74,10	76,16	74,99	75,03	3,36	80,10	161,600	74,10	76,16	74,77	74,82	4,98	83,22
166,600	73,10	75,16	73,99	74,01	3,40	79,21	166,600	73,10	75,16	73,77	73,81	5,05	82,42
171,600	72,10	74,16	72,99	73,01	3,43	78,29	171,600	72,10	74,16	72,77	72,80	5,10	81,59
176,600	71,10	73,16	71,99	72,00	3,45	77,34	176,600	71,10	73,16	71,77	71,80	5,14	80,73
179,100	70,60	72,66	71,49	71,50	3,46	76,86	179,100	70,60	72,66	71,27	71,29	5,16	80,29

**Figura 6.3 – Perfil Hidráulico do Canal de Descarga para Q= 1855 m³/s**

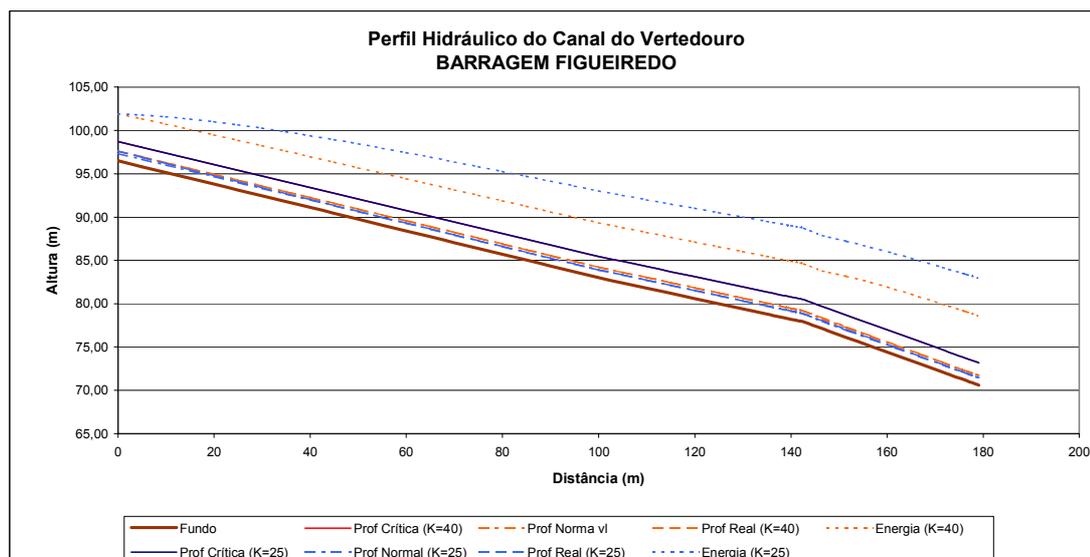


**Quadro 6.6 – Cotas Reais do Escoamento no Canal de Descarga Q= 2592 m³/s**

n=0,040						
Dist	Cota de Fundo	Cota da Altura Crítica	Cota da Altura Normal	Cota da Linha d'água	Froude	Cota da Energia
x (m)	z (m)	Y <sub>c</sub> (m)	Y <sub>N</sub> (m)	Y <sub>real</sub> (m)	Fr	He (m)
0,000	96,50	98,72	97,62	97,63	2,77	101,93
5,000	95,83	98,06	96,95	96,95	2,79	101,34
10,000	95,15	97,39	96,28	96,28	2,81	100,73
15,000	94,48	96,73	95,61	95,60	2,82	100,12
20,000	93,80	96,06	94,94	94,93	2,83	99,49
25,000	93,13	95,40	94,27	94,26	2,84	98,87
30,000	92,45	94,74	93,60	93,58	2,85	98,23
35,000	91,78	94,07	92,93	92,91	2,85	97,60
40,000	91,10	93,41	92,26	92,24	2,86	96,97
45,000	90,43	92,75	91,59	91,57	2,86	96,33
50,000	89,75	92,08	90,92	90,90	2,86	95,69
55,000	89,08	91,42	90,25	90,23	2,87	95,06
60,000	88,40	90,76	89,58	89,56	2,87	94,42
65,000	87,73	90,09	88,91	88,89	2,87	93,78
70,000	87,05	89,43	88,24	88,22	2,88	93,15
75,000	86,38	88,77	87,57	87,55	2,88	92,51
80,000	85,70	88,11	86,90	86,88	2,88	91,87
85,000	85,03	87,44	86,23	86,21	2,88	91,24
90,000	84,35	86,78	85,56	85,54	2,89	90,60
95,000	83,68	86,12	84,90	84,87	2,89	89,97
100,000	83,00	85,46	84,23	84,20	2,89	89,34
105,000	82,40	84,87	83,63	83,61	2,90	88,78
110,000	81,80	84,29	83,04	83,01	2,90	88,23
115,000	81,20	83,70	82,44	82,42	2,91	87,67
120,000	80,60	83,11	81,85	81,83	2,91	87,12
125,000	80,00	82,53	81,26	81,23	2,91	86,57
130,000	79,40	81,94	80,66	80,64	2,92	86,02
135,000	78,80	81,36	80,07	80,04	2,92	85,46
140,000	78,20	80,77	79,48	79,45	2,92	84,91
142,700	77,88	80,45	79,16	79,13	2,92	84,59
146,600	77,10	79,67	78,19	78,35	3,14	83,78
151,600	76,10	78,67	77,19	77,31	3,27	83,17
156,600	75,10	77,67	76,19	76,27	3,36	82,45
161,600	74,10	76,67	75,19	75,25	3,42	81,67
166,600	73,10	75,67	74,19	74,24	3,47	80,83
171,600	72,10	74,67	73,19	73,22	3,50	79,95
176,600	71,10	73,67	72,19	72,22	3,53	79,04
179,100	70,60	73,17	71,69	71,71	3,54	78,58

n=0,025						
Dist	Cota de Fundo	Cota da Altura Crítica	Cota da Altura Normal	Cota da Linha d'água	Froude	Cota da Energia
x (m)	z (m)	Y <sub>c</sub> (m)	Y <sub>N</sub> (m)	Y <sub>real</sub> (m)	Fr	He (m)
0,000	96,50	98,72	97,34	97,63	3,19	101,93
5,000	95,83	98,06	96,67	96,89	3,40	101,78
10,000	95,15	97,39	96,00	96,17	3,57	101,58
15,000	94,48	96,73	95,33	95,46	3,70	101,31
20,000	93,80	96,06	94,66	94,77	3,81	101,00
25,000	93,13	95,40	93,99	94,07	3,91	100,65
30,000	92,45	94,74	93,31	93,38	3,99	100,26
35,000	91,78	94,07	92,64	92,70	4,06	99,84
40,000	91,10	93,41	91,97	92,01	4,11	99,40
45,000	90,43	92,75	91,30	91,33	4,16	98,93
50,000	89,75	92,08	90,63	90,65	4,21	98,45
55,000	89,08	91,42	89,96	89,97	4,25	97,95
60,000	88,40	90,76	89,29	89,30	4,28	97,43
65,000	87,73	90,09	88,62	88,62	4,31	96,91
70,000	87,05	89,43	87,95	87,95	4,33	96,37
75,000	86,38	88,77	87,28	87,27	4,36	95,82
80,000	85,70	88,11	86,61	86,60	4,38	95,27
85,000	85,03	87,44	85,94	85,92	4,39	94,71
90,000	84,35	86,78	85,26	85,25	4,41	94,14
95,000	83,68	86,12	84,59	84,58	4,42	93,58
100,000	83,00	85,46	83,92	83,90	4,44	93,00
105,000	82,40	84,87	83,33	83,31	4,45	92,50
110,000	81,80	84,29	82,73	82,71	4,46	92,01
115,000	81,20	83,70	82,14	82,11	4,48	91,51
120,000	80,60	83,11	81,54	81,51	4,49	91,01
125,000	80,00	82,53	80,95	80,92	4,50	90,51
130,000	79,40	81,94	80,35	80,32	4,51	90,01
135,000	78,80	81,36	79,76	79,73	4,52	89,51
140,000	78,20	80,77	79,16	79,13	4,53	89,01
142,700	77,88	80,45	78,84	78,81	4,53	88,70
146,600	77,10	79,67	77,92	78,03	4,88	87,86
151,600	76,10	78,67	76,92	77,01	4,96	87,20
156,600	75,10	77,67	75,92	76,00	5,04	86,50
161,600	74,10	76,67	74,92	74,99	5,10	85,76
166,600	73,10	75,67	73,92	73,98	5,16	84,99
171,600	72,10	74,67	72,92	72,97	5,21	84,19
176,600	71,10	73,67	71,92	71,96	5,25	83,36
179,100	70,60	73,17	71,42	71,46	5,27	82,93

**Figura 6.4 – Perfil Hidráulico do Canal de Descarga para Q= 2592 m³/s**



Dado o escoamento que se estabelece a jusante, conforme será visto a seguir, as alturas conjugadas obtidas implicam em ressalto hidráulico afogado com graus de submergência variáveis conforme os parâmetros analisados. Para a vazão milenar 1855 m<sup>3</sup>/s, tem-se:

- $n = 0,025 \rightarrow S = 0,17$
- $n = 0,040 \rightarrow S = 0,39$

Para os graus de submergência encontrados, tem-se os comprimentos de 33,98m e 33,06 para o ressalto hidráulico, sejam os coeficientes de 0,025 e 0,040, respectivamente.

Finalmente, adotou-se o comprimento da Bacia de Dissipação igual a 35,0m com degrau de 3,5m, na transição para o Canal de Restituição, de forma que o ressalto fique afogado em até 10% da respectiva altura conjugada.

#### CANAL DE RESTITUIÇÃO DO VERTEDOIRO

O canal de restituição tem largura constante de 200m, declividade igual a 1,0 m/km, estendendo-se por pouco mais de 600m. Inicia imediatamente a jusante da Bacia de Dissipação, na cota 74,0m.

Neste canal estabelece-se um regime no de escoamento, o qual foi verificado para as vazões centenária, milenar e decamilenar, de 1184 m<sup>3</sup>/s, 1855 m<sup>3</sup>/s e 2592 m<sup>3</sup>/s, respectivamente.

O cálculo foi feito levando-se em conta as características geométricas do rio até 3,0 km a jusante do barramento. As simulações foram feitas no Software CLiv, elaborado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, da USP.

Os resultados podem ser observados na Figura 6.5, onde estão representadas as linhas d'água para as vazões supracitadas.

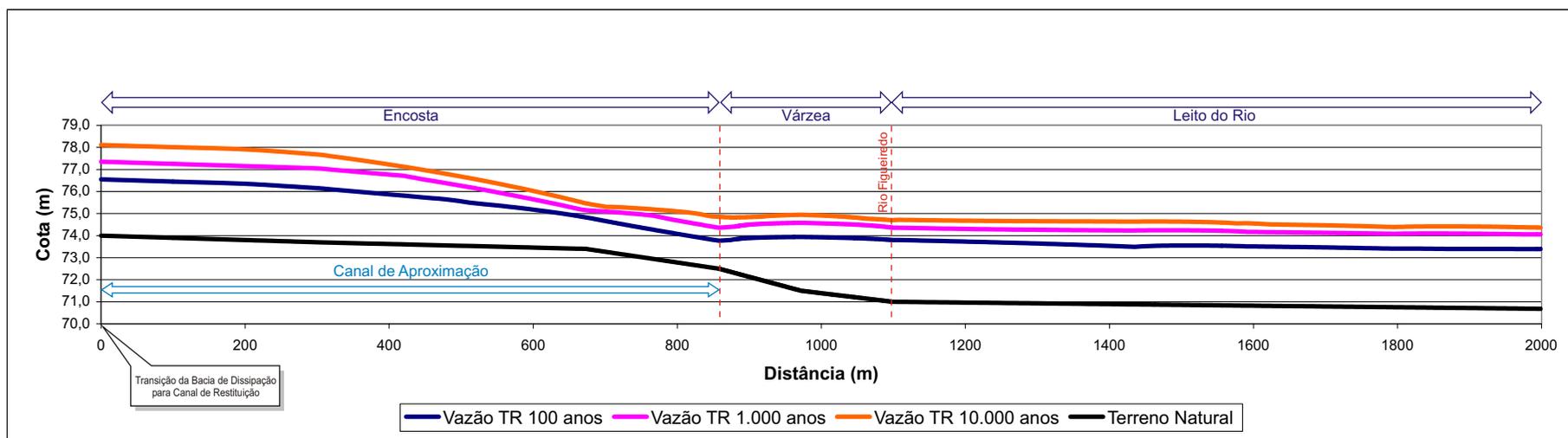
#### 6.2.2 – Tomada D'água

##### a) Dados Básicos

Vazões e predimensionamento da galeria:

- $Q_{\max}=8,00 \text{ m}^3/\text{s}$  (para o pico da vazão de irrigação a jusante)
- $Q_{\text{med}}=4,40 \text{ m}^3/\text{s}$  (vazão média regularizável)

**Figura 6.5 - Linha D'Água no Canal de Restituição e no Rio para as Cheias com Período de Retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos**



- $Q_{\max}$ . esvaziamento  $\approx 32,00 \text{ m}^3/\text{s}$ : (estimativa preliminar a ser verificada nas curvas de vazão x carga, definidas com base nos cálculos hidráulicos a seguir).

Considerando-se o possível aproveitamento da carga hidráulica a jusante, adotou-se o predimensionamento econômico pela forma de Bresser, para a vazão média regularizável de  $Q_{\text{med}} = 4,40 \text{ m}^3/\text{s}$ .

$$D = K\sqrt{Qm} = 0,9\sqrt{4,40} = 1,89\text{m} \text{ , sendo adotado } D=2,00\text{m, como primeira aproximação.}$$

b) Características Geométricas e Hidráulicas dos Componentes da Tomada d'Água (veja coeficientes de perdas e dimensões no quadro a seguir):

- Grade de proteção de montante: com dimensões de 3,0m x 4,0m, construída em aço carbono, sendo composta de barras verticais  $\frac{1}{2}$ " x 0,10m, distanciadas 0,10m de centro a centro (espaço livre =  $0,1000 - 0,0127 = 0,0873\text{m}$ ) e barras de apoio horizontais transversais, a cada 0,50m, de  $1$ " x 0,15m (espaço livre:  $0,50 - 0,0245 = 0,4746\text{m}$ ), que implicará num coeficiente de perda de carga  $K_{cg} = 0,30$  (estimado por  $K_g = 1,45 - 0,45 (S_i / S_g) - (S_i / S_g)^2 = 0,39$ ; conforme Design of Small Dams).
- Entrada = (secção 3,0m x 4,0m)
- Comporta vagão = 1,6m x 2,0 m, com servomotor ( $K_c = 0,10$ )
- Transição: seção quadrada de 1,60m x 2,0m para seção circular de 2,0m de diâmetro, em aço carbono revestida de concreto estrutural ( $K_c = 0,10$ )
- Tubulações da Galeria: com 2,00m de diâmetro e comprimento de 95,00m, em aço carbono de  $\frac{1}{2}$ " de espessura, sendo revestida internamente em aço carbono e externamente em concreto estrutural. (manning:  $n = 0,010$ )
- Bifurcação de jusante: para transição da tubulação única de 2,00m de diâmetro, para duas tubulações de 1,40m de diâmetro onde serão acopladas as válvulas dispensoras. ( $K_b = 0,50$ )
- Válvulas borboletas: estão previstas duas unidades de 1.400mm de diâmetro, equipadas com servomotor elétrico, para acionamento no caso de manutenção das válvulas dispensoras ( $K_{vb} = 0,24$ )
- Válvulas dispensoras: estão previstas duas válvulas de 1.400mm de diâmetro, com a função de dissipação das cargas hidráulicas elevadas e, ainda, permitir o controle de vazões, que

para estes equipamentos pode ser viabilizada com erro não superior a 5% da vazão derivada. ( $K_{vd} = 1,56$  , que corresponde ao coeficiente de vazão  $cv = 0,85$  com válvula totalmente aberta para uma válvula padrão que se espera ser atendido sem maiores dificuldades).

c) Cálculos Hidráulicos e Estabelecimento de curvas de capacidade de vazão x carga disponível.

Nos Quadros 6.7a e 6.7b apresenta-se de forma consolidada, segundo metodologia adotada pelo USBR na publicação Design of Small Dams, os cálculos hidráulicos para determinação da expressão simplificada para estimativa das vazões em função da carga disponível, já considerando-se o somatório dos coeficientes de perdas de carga de todos os componentes descritos anteriormente para a tomada d'água. Nos Quadros 6.7c, 6.7d e Figuras 6.6, 6.7 e 6.8 apresentam-se os dados que expressam a variação de vazão em função da perda de carga entre o nível d'água a montante e o eixo da tomada d'água a jusante, definido na cota 75,00m pelas condições de inundação a jusante, conforme demonstrado nos cálculos hidráulicos do vertedouro e do canal de restituição apresentado nas Figuras 6.1 e 6.5 que ilustram os níveis de inundação para as cheias centenárias, milenar e decamilenar.

d) Descrição e caracterização geral do equipamento hidroeletromecânico previsto para a tomada d'água

#### Grade móvel

Uma grade móvel, encaixada em guias laterais, apoiada na soleira que será chumbada ao concreto na boca de entrada da galeria.

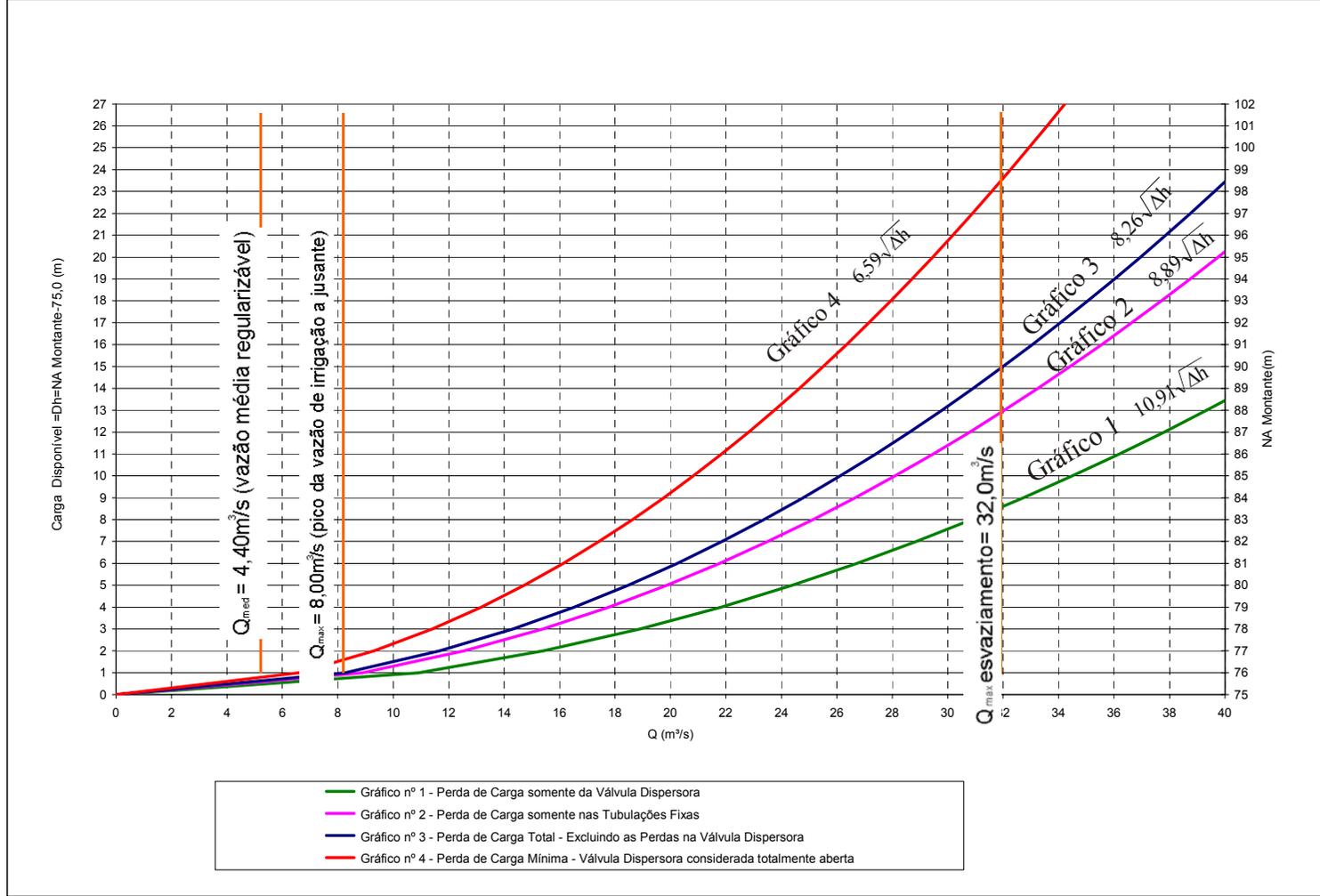
A grade deverá ter dimensões externas de L x H 3,40m x 4,0m.

As dimensões das barras, bem como a malha adotada deverão ser calculadas em conformidade com a Norma ABNT NBR 11213.

As guias laterais e soleiras deverão dispor de chumbadores que servirão para posicioná-las e ancorá-las.

As guias laterais estender-se-ão até a cota 103,50m.

Figura 6.6 - Captação Barragem Figueiredo  
Gráfico Dh (m) x Q (m³/s)





**Quadro 6.7b - Cálculo para Definição dos Gráficos de Variação das Perdas de Carga para diferente Situações de Escoamento e Montagem dos Equipamentos de Controle (duas saídas operando)**

Item	Componente	Extensão (m)	Tipo de Seção			Área (m <sup>2</sup> )	$\left(\frac{a_t}{a_o}\right)^2$	Tipo de Perda	Símbolo da Perda	Perdas Médias Consideradas							
			Retangular		Circular					Somente na Válvula Dispersora		Somente nas Tubulações Fixas		Total (excluindo Perdas na Válvula Dispersora)		Total (Válvula Dispers. totalmente aberta)	
			b (m)	h (m)						d (mm)	Coefficiente de perda (k)	$\left(\frac{a_t}{a_o}\right)^2 \times k$	Coefficiente de perda (k)	$\left(\frac{a_t}{a_o}\right)^2 \times k$	Coefficiente de perda (k)	$\left(\frac{a_t}{a_o}\right)^2 \times k$	Coefficiente de perda (k)
1	Grade		3,0	4,0		9,95	0,10	Grade	K <sub>g</sub>		0,00		0,00	0,39	0,04	0,39	0,04
											0,00		0,00		0,00		0,00
											0,00		0,00		0,00		0,00
2	Entrada		3,0	4,0		12,00	0,07	Entrada	K <sub>e</sub>		0,00	0,20	0,01	0,20	0,01	0,20	0,01
		5,0				7,60	0,17	Fricção	K <sub>f</sub>		0,00	0,03	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01
			1,6	2,0		3,20	0,96	Contração	K <sub>ct</sub>		0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
3	Comporta de Guarda (*)		1,6	2,0		3,20	0,96	Comporta	K <sub>cp</sub>								
		2,5				3,20	0,96	Fricção	K <sub>f</sub>								
4	Comporta Principal		1,6	2,0		3,20	0,96	Comporta	K <sub>cp</sub>		0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10
		0,0				3,20	0,96	Fricção	K <sub>f</sub>		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
											0,00		0,00		0,00		0,00
5	Transição		1,6	2,0		3,20	0,96	Concordância	K <sub>cd</sub>		0,00	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
		5,0				3,20	0,96	Fricção	K <sub>f</sub>		0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
											0,00		0,00		0,00		0,00
6	Tubulação	95,0			2.000	3,14	1,00	Tubulação	K <sub>t</sub>		0,00	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47
											0,00		0,00		0,00		0,00
											0,00		0,00		0,00		0,00
7	Bifurcação / Curva 30°				2x1.400	3,08	1,04	Bifurcação / Curva 30°	K <sub>bc</sub>		0,00	0,50	0,52	0,50	0,52	0,50	0,52
		6,0			2x1.400	3,08	1,04	Fricção	K <sub>f</sub>		0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
											0,00		0,00		0,00		0,00
8	Curva 30°				2x1.400	3,08	1,04	Curva 30°	K <sub>c</sub>		0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
		6,0			2x1.400	3,08	1,04	Fricção	K <sub>f</sub>		0,00	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
											0,00		0,00		0,00		0,00
9	Válvula Borboleta				2x1.400	3,08	1,04	Válvula Borboleta	K <sub>vb</sub>		0,00		0,00	0,24	0,25	0,24	0,25
											0,00		0,00		0,00		0,00
											0,00		0,00		0,00		0,00
10	Tubulação	1,0			2x1.400	3,08	1,04	Tubulação	K <sub>t</sub>		0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
											0,00		0,00		0,00		0,00
											0,00		0,00		0,00		0,00
11	Válvula Dispersora				2x1.400	3,08	1,04	Válvula Dispersora	K <sub>ve</sub>	1,56	1,63	0,00	0,00	0,00	1,56	1,63	0,00
	Coef. Descarga= 0,80										0,00		0,00		0,00		0,00
	100% aberta										0,00		0,00		0,00		0,00
12	Saída				2x1.400	3,08	1,04	Saída	K <sub>s</sub>		0,00	1,00	1,04	1,00	1,04	1,00	1,04
											0,00		0,00		0,00		0,00
											0,00		0,00		0,00		0,00
<b>TOTAL DE PERDAS (Σ K<sub>i</sub>)</b>										Gráfico nº1	<b>1,63</b>	Gráfico nº2	<b>2,45</b>	Gráfico nº3	<b>2,84</b>	Gráfico nº4	<b>4,46</b>

(\*) A Comporta de Guarda (Stop-Log) foi suprimida na versão final do projeto

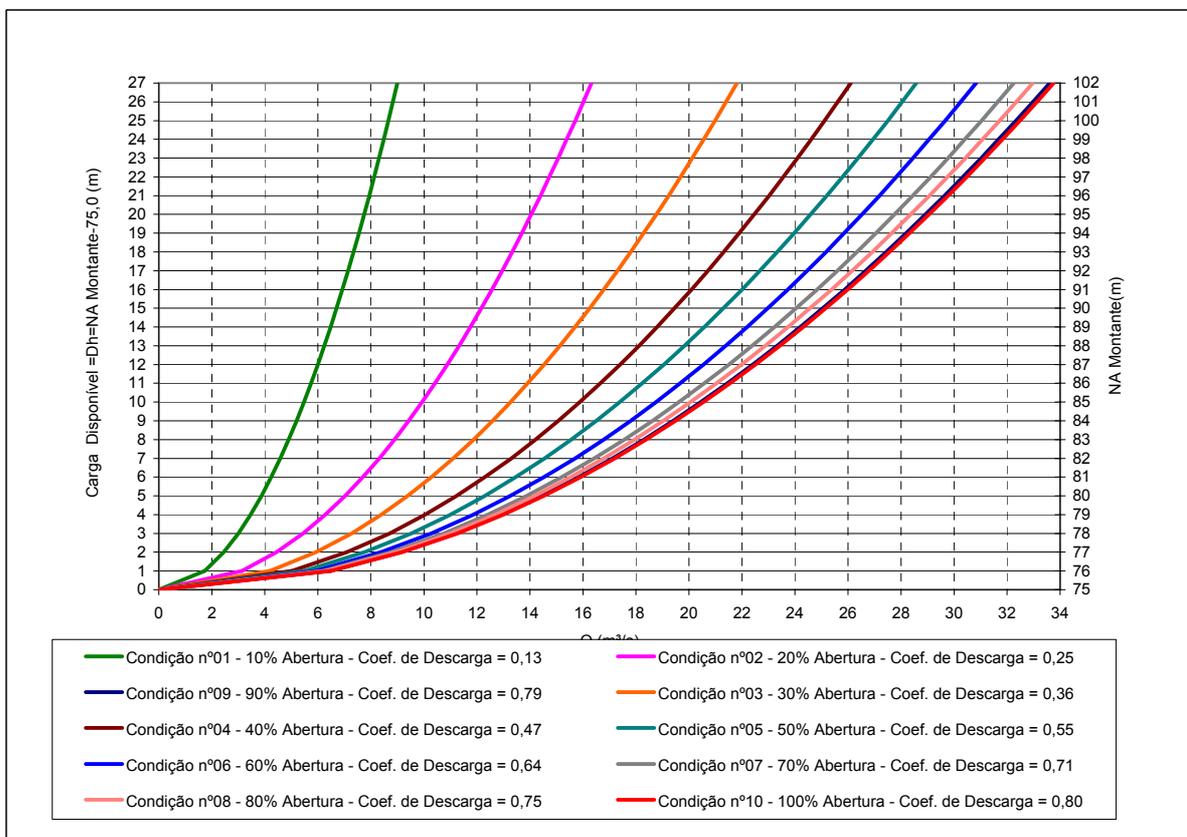
**Quadro 6.7c - Coeficientes de Descarga e Perdas de Carga em Válvula Dispersora, utilizando valores indicados por diferentes fontes de pesquisa; valores adotados para definição da curva de descarga da Tomada d'água;**

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	<b>0,13</b>	<b>59,17</b>
2	20%	0,10	0,27	13,72	0,20	25,00	0,19	27,70	0,20	25,00	<b>0,25</b>	<b>16,00</b>
3	30%	0,18	0,38	6,93		0,00		0,00	0,30	11,11	<b>0,36</b>	<b>7,72</b>
4	40%	0,20	0,50	4,00	0,40	6,25	0,39	6,57	0,41	5,95	<b>0,47</b>	<b>4,53</b>
5	50%	0,25	0,59	2,87		0,00		0,00	0,50	4,00	<b>0,55</b>	<b>3,31</b>
6	60%	0,30	0,68	2,16	0,58	3,02	0,55	3,31	0,58	2,97	<b>0,64</b>	<b>2,44</b>
7	70%	0,35	0,75	1,78		0,00		0,00	0,66	2,30	<b>0,71</b>	<b>1,98</b>
8	80%	0,40	0,80	1,56	0,72	1,93	0,69	2,10	0,74	1,83	<b>0,75</b>	<b>1,78</b>
9	90%	0,45	0,84	1,42		0,00		0,00	0,80	1,56	<b>0,79</b>	<b>1,60</b>
10	100%	0,50	0,85	1,38	0,84	1,42	0,81	1,52	0,86	1,35	<b>0,80</b>	<b>1,56</b>

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

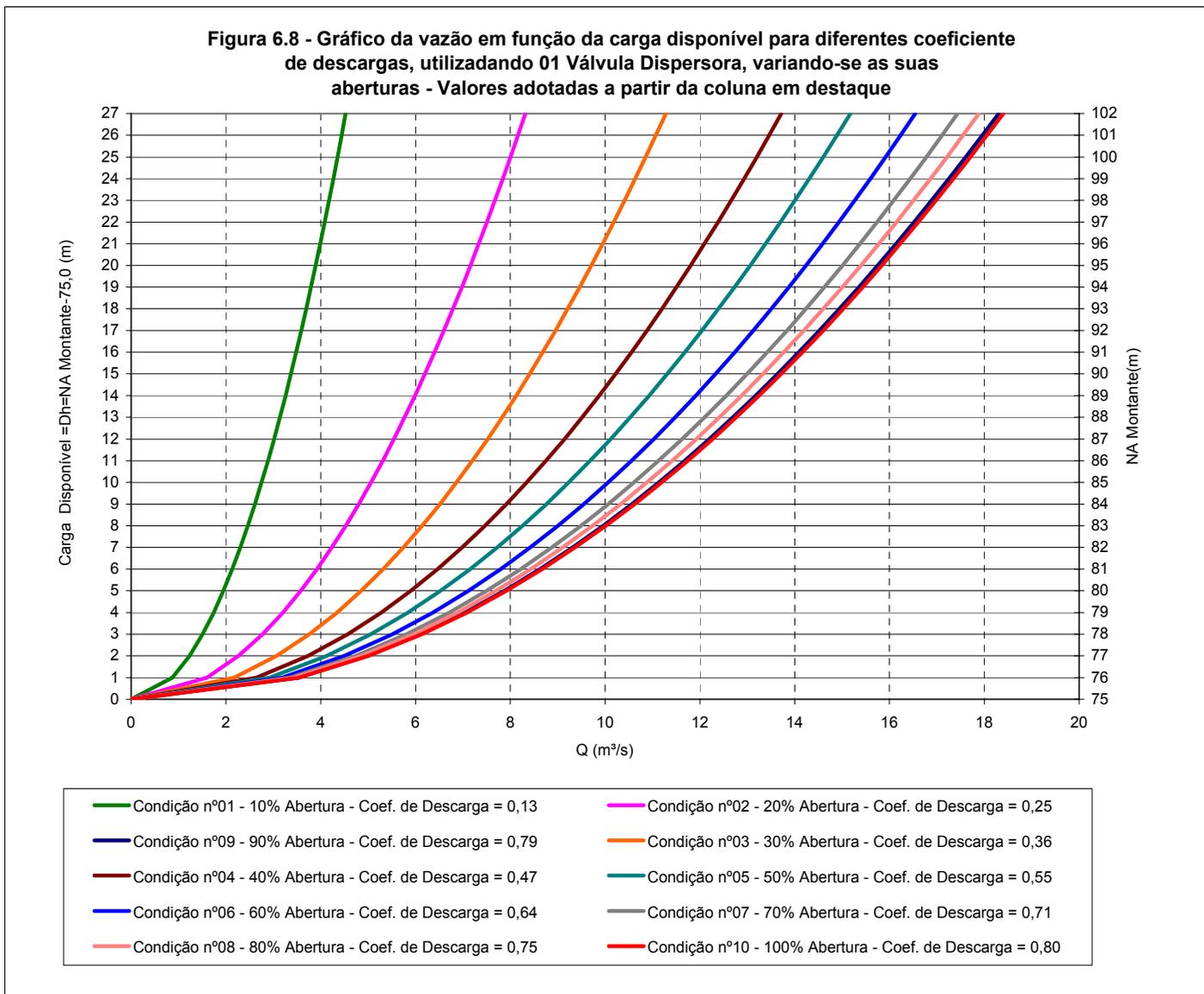
**Figura 6.7 - Gráfico da vazão em função da carga disponível para diferentes coeficiente de descargas, utilizando 02 Válvulas Dispersoras, variando-se as suas aberturas - Valores adotadas a partir da coluna em destaque**



**Quadro 6.7d - Cálculos Hidráulicos da Tomada d'Água e definição da Equação da Vazão em Função da Carga Disponível para uma Válvula Dispensora totalmente aberta**

Item	Componente	Extensão (m)	Tipo de Seção			Área (m <sup>2</sup> )	$\left(\frac{a_t}{a_0}\right)^2$	Tipo de Perda	Símbolo da Perda	Perda Média							
			Retangular		Circular					Localizadas	Perdas por Fricção					$\left(\frac{a_t}{a_0}\right)^2 \times k$	
			b (m)	h (m)	d (mm)						Coefficiente de perda (k)	Seção (m <sup>2</sup> )	Perímetro (m)	Raio Hidráulico (m)	n		Extensão (m)
1	Grade		3,0	4,0		9,95	0,10	Grade	K <sub>g</sub>	0,39							0,04
																	0,00
																	0,00
2	Entrada		3,0	4,0		12,00	0,07	Entrada	K <sub>e</sub>	0,20							0,01
		5,0				7,60	0,17	Fricção	K <sub>f</sub>		7,60	10,60	0,72	0,014	5,00	0,03	0,01
			1,6	2,0		3,20	0,96	Contração	K <sub>ct</sub>	0,10							0,10
3	Comporta de Guarda (*)		1,6	2,0		3,20	0,96	Comporta	K <sub>cp</sub>								
		2,5				3,20	0,96	Fricção	K <sub>f</sub>								
4	Comporta Principal		1,6	2,0		3,20	0,96	Comporta	K <sub>cp</sub>	0,10							0,10
		0,0				3,20	0,96	Fricção	K <sub>f</sub>		3,20	7,20	0,44	0,010	0,00	0,00	0,00
																	0,00
5	Transição		1,6	2,0		3,20	0,96	Concordância	K <sub>cd</sub>	0,10							0,10
		5,0				3,20	0,96	Fricção	K <sub>f</sub>		3,20	7,20	0,44	0,010	5,00	0,03	0,03
																	0,00
6	Tubulação	95,0			2.000	3,14	1,00	Tubulação	K <sub>t</sub>		3,14	6,28	0,50	0,010	95,00	0,47	0,47
																	0,00
																	0,00
7	Bifurcação / Curva 30°				1.400	1,54	4,16	Bifurcação / Curva 30°	K <sub>bc</sub>	0,50							2,08
		6,0			1.400	1,54	4,16	Fricção	K <sub>f</sub>		1,54	4,40	0,35	0,010	6,00	0,05	0,20
																	0,00
8	Curva 30°				1.400	1,54	4,16	Curva 30°	K <sub>c</sub>	0,07							0,29
		6,0			1.400	1,54	4,16	Fricção	K <sub>f</sub>		1,54	4,40	0,35	0,010	6,00	0,05	0,20
																	0,00
9	Válvula Borboleta				1.400	1,54	4,16	Válvula Borboleta	K <sub>vb</sub>	0,24							1,00
																	0,00
																	0,00
10	Tubulação	1,0			1.400	1,54	4,16	Tubulação	K <sub>t</sub>		1,54	4,40	0,35	0,010	1,00	0,01	0,03
																	0,00
																	0,00
11	Válvula Dispensora				1.400	1,54	4,16	Válvula Dispensora	K <sub>vc</sub>	1,56							6,51
	Coef. Descarga= 0,80																0,00
	100% aberta																0,00
12	Saída				1.400	1,54	4,16	Saída	K <sub>s</sub>	1,00							4,16
																	0,00
																	0,00
<b>TOTAL DE PERDAS (Σ K<sub>i</sub>)</b>																<b>15,32</b>	

(\*) A Comporta de Guarda (Stop-Log) foi suprimida na versão final do projeto



As normas ABNT NBR 7880 - Grade de Tomada D'água para Instalação Hidráulica – Terminologia e NBR 11213 - Cálculo de Grades de Tomada D'água para Instalações hidráulicas, deverão servir de orientação para a fabricação de grades.

O espaçamento máximo entre as barra verticais deverá ser de 100mm.

Nenhuma barra, contraventamento ou suporte poderá ter espessura inferior a 9,5mm.

A grade deve dispor de pontos de suspensão, calculados para 2,0 vezes o esforço normal de içamento.

A grade deve dispor de rodas com mancais em materiais antifricção, para facilitar os deslocamentos nas guias.

#### Comporta tipo vagão

Uma comporta tipo vagão, para acionamento com fluxo (pressões desequilibradas), em chapas de aço e vedação em neoprene, com dimensões nominais de (largura) 1,60m x 2,00 (altura), com comporta by-pass 0,20m x 0,20m incorporada nela, incluindo peças fixas e haste de acionamento

A comporta com suas peças fixas deverá ser fabricada para fechar com fluxo, estando a água na cota 99,00 e o fluxo d'água em cerca de 30 m<sup>3</sup>/s.

A comporta deverá fechar sempre sem que seja necessária força descendente proveniente do sistema de acionamento.

A vedação será à jusante do paramento.

A soleira, componente inferior das peças fixas, que serve de apoio do tabuleiro e da vedação inferior, deverá ser em barra de aço AISI 304L com espessura de no mínimo 19mm, soldada em perfil de aço que ficará chumbado.

Os caminhos de rolamento, componentes laterais das peças fixas que servem como elementos de apoio e redistribuição das cargas transmitidas pelas rodas da comporta devem ser em barras de aço AISI 410, com espessura de no mínimo 19mm, soldadas em perfis de aço que ficarão chumbados ao concreto.

As guias laterais, componentes laterais das peças fixas que servem para limitar deslocamentos do tabuleiro na direção e sentido contrário do fluxo e absorver os esforços correspondentes, devem ser executadas em perfis de aço AISI 410, com espessura de no mínimo 6,35 mm, chumbados ao concreto.

As guias laterais estender-se-ão até a cota 78,50 em AISI 410 e daí até a cota 103,50, em aço ASTM A36.

O tabuleiro, componente principal da comporta, que serve de anteparo à passagem da água, constituído de paramento e vigamento, deverá ser fabricado em aço ASTM A-36 ou outro que apresente melhores qualidades quanto à corrosão. No tabuleiro deverá estar instalada uma comporta tipo by-pass, 0,20m x 0,20m, acionada pela haste da comporta vagão.

#### Válvula borboleta DN 1400, PN 10

As duas válvulas borboletas terão a função de bloqueio do fluxo com um desequilíbrio de pressão de 25m de coluna d'água e um fluxo d'água de 10,0 m<sup>3</sup>/s.

As válvulas borboletas deverão ser flangeadas, de aço-carbono soldado, com vedação resiliente, fabricadas de acordo com a norma ABNT NBR 10134.

As válvulas borboletas deverão ser da série curta.

O acionamento deverá ser mecânico, manual, com volante e redutor, e o eixo deverá ficar na horizontal.

As válvulas borboletas deverão ter preponderância ao fechamento.

#### Válvula Difusora

Duas válvulas difusoras de jato cônico, de acionamento mecânico, DN 1400, PN 10, com câmaras envolventes.

As válvulas difusoras tipo Howell-Bunger, DN 1400, PN 10, deverão ser instaladas com a finalidade de perenizar referido rio à jusante da barragem, com uma vazão total de 8m<sup>3</sup>/s, com coluna d'água entre 5m e 25m no açude.

As válvulas devem ser projetadas para operar, sem vibrações excessivas, sem cavitação e com um mínimo de manutenção, para toda a faixa de trabalho prevista.

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, indicando 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.

### Tubulação em Aço-Carbono

Tubo de aço, em chapa com espessura de 12,7mm, soldado, composto de três trechos a seguir discriminados

- Primeiro trecho, que são os primeiros 8m de tubo à jusante da comporta tipo vagão, onde a seção passa de retangular (largura) 1,60 m x 2,0 (altura) para uma seção circular com diâmetro de 2,0m;
- Segundo trecho, que são 100,0m de tubo à jusante do primeiro trecho, onde a seção é toda circular DN 2000mm, tendo no último metro, uma janela de visita e dreno;
- Terceiro trecho que é formado por um “y” em redução 2000 x 1400 mm e mais dois ramos DN 1400mm, com flanges onde serão montadas as válvulas borboletas, as juntas Dresser e as válvulas dispersoras. O layout do sistema está bem definido no Desenho nº 0854-FC-40-0103-011, de 103/2002.

A chapa para formação do tubo deverá ser toda em ASTM A-36 ou outro material que apresente melhor qualidade, com espessura de 12,7mm, mesmo no trecho em que o diâmetro nominal é de 1400mm.

### Monovia (talha elétrica)

Com perfil padronizado em aço, com comprimento nominal de 9,25m, controle manual, com talha elétrica com capacidade nominal de 7 ton para cargas móveis, com cabo de aço, com altura de içamento de pelo menos 6,0m, com motor elétrico trifásico 380V, com freio e com sistema de partida do motor que controle torque e velocidade.

A monovia com a talha deverá ser instalada na torre da tomada d'água e terá como finalidade movimentar a grade, a comporta tipo stop-log e a comporta tipo vagão instaladas na mesma tomada d'água.

Farão parte do fornecimento duas linhas de 2,0m de comprimento em cabo de aço  $\varnothing \frac{3}{4}$ ".

O terminal do cabo da talha deverá estar apropriado para o engate com as hastes dos equipamentos hidromecânicos.

A velocidade de içamento deverá ser de 0,15 m/min.

No caso de os esforços para içamento da comporta fornecida requererem uma capacidade maior da talha e da monovia, a CONTRATADA deverá providenciar a adequação sem acréscimo de custos para o CONTRATANTE.

A talha deverá dispor de dois freios , ambos eletromagnéticos, sendo um com sapatas, com a possibilidade adicional de ser acionado manualmente.

O sistema de freio deverá ter capacidade de freiar com um torque de 150% do torque do motor elétrico da talha.

#### Monovia (talha manual)

Duas monovias, com 15m cada, com talha de corrente, manual, com capacidade de içamento de uma carga de 5 ton. e para uma altura de içamento de no mínimo 7,0m

As monovias com talhas deverão ser instaladas na casa de comando das válvulas à jusante da barragem e serão utilizadas nas montagens, desmontagens e manutenção das válvulas borboletas DN 1400mm, válvulas dispersoras DN 1400mm e juntas Dresser DN 1400mm.

A talha deverá estar num troler.

A monovia deverá ser feita em perfil de aço, lâminas a quente.

Os parafusos de fixação da monovia deverão ser de aço, de qualidade "fina".

### Grupo Gerador

Grupo-gerador a diesel, trifásica, com quadro de comando, potência mínima de 10 KVA, partida elétrica, com bateria, com sistema de refrigeração e sistema de expulsão dos gases de combustão para fora da casa de comando das válvulas

O grupo-gerador terá a finalidade de fornecer iluminação de emergência, acionar as válvulas dispersoras e a ponte rolante que movimenta as comportas no caso de falta de energia da COELCE.

O grupo gerador deverá estar interligado ao sistema de monitoramento e automação, de forma a poder ser monitorado e acionado de Fortaleza.

O grupo gerador deverá ser o responsável pelo carregamento de sua própria bateria e das baterias do sistema de automação.

### Soprador

Soprador com motor elétrico e tubos de PVC roscável com capacidade de eliminar em 30 min os gases tóxicos e gases explosivos acumulados no forro da comporta

Os gases deverão ser retirados preferencialmente por sucção e jogados para fora da casa de comando das válvulas.

### Escadas em aço inoxidável

As escadas, em aço inoxidável deverão ser instaladas no fosso da comporta e nos fossos das válvulas.

As escadas deverão ser fabricadas em cantoneiras de aço inoxidável 50mm x 50mm x 6,35mm, tanto as estruturas verticais como os degraus.

Os cordões de solda deverão ser pintados protegendo-se da corrosão intergranular.

Os cordões de solda deverão ser contínuos, não sendo permitida a inexistência de frestas.

Os chumbadores deverão ser em aço inoxidável, com diâmetro de no mínimo 19,0mm. As porcas deverão ser também em aço inoxidável.

### Tampas metálicas para fossas

As tampas metálicas deverão servir de piso no topo das fossas das comportas e das válvulas, devendo ter resistência adequada para esse fim.

As chapas metálicas deverão ser corrugadas, de forma a evitar-se acidentes de escorregões.

As tampas deverão ter dobradiças em aço inoxidável.

As tampas deverão ser fabricadas em módulos com pesos unitários inferiores a 50 kg cada.

As tampas deverão ser pintadas em tinta à base de epóxi, resistentes à abrasão.

### Canais de Restituição e Aproximação

O canal de aproximação a montante terá fundo horizontal escavado na cota 72, com largura de fundo de 20m e taludes laterais com inclinação (H:V) 2:1.

O canal de restituição a jusante inicia-se logo após a bacia de dissipação na cota 73 com declividade de 0,20 m/km e seção com 20m de fundo e taludes laterais com inclinação de (H:V) 2:1.

Ambos os canais serão revestidos no fundo com uma camada de enrocamento de 1,0m de espessura em uma faixa de 10m de comprimento no trecho final do canal de aproximação e no trecho inicial do canal de restituição.

## 7 - PLANO DE MONITORAMENTO E PLANO DE PRIMEIRO ENCHIMENTO

### 7.1 – PLANO DE MONITORAMENTO

#### 7.1.1 - Avaliação do índice global de risco

A avaliação do risco global associado a barragens foi efetuada, atribuindo valores ( $\alpha_i$ ) aos diferentes fatores de risco, segundo regras simples expressas no Quadro 7.1. 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)

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

- 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:

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

**Quadro 7.1 - Fatores de apreciação das condições de risco**

i/ α	Associados a Factores Exteriores ou Ambientais (E)					Associados a Barragem - Fiabilidade (F)				Associados a Factores Humanos e Económicos (R)	
	Sismicidade (período de retorno de 1 000 anos)	Escorregamento taludes (probabilidade)	Cheias superiores à do projeto (probabilidade)	Gestão da albufeira	Ações agressivas (Clima, água, etc)	Dimensionamento estrutural	Fundações	Órgãos de descarga	Manutenção	Volume da albufeira (m <sup>3</sup> )	Instalações a jusante
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Mínima ou nula a <0,05g	Mínima ou nula	Muito baixa (barragens e betão)	Plurianual anual ou sazonal	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, agricul-tura, indústria artesanal
4	Forte 0,2 g < a < 0,4 g	---	---	Diária	Fortes	---	---	---	---	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>	Agglomerados populacionais médios, pequenas indústrias
5	a > 0,4 g	---	---	Bombagem	Muito fortes	---	Medíocres	---	---	> 10 <sup>9</sup>	Grandes aglomerados populacionais, indústrias, instalações nucleares
6(a)	---	Grande	Elevada	---	---	Inadequado	Medíocres a más	Insuficientes não operacionais	Insatisfatórias	---	

(a) - Condições anormais - Intervenção técnica indispensável

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

$$F = \frac{1}{4} \sum_{i=6}^9 \alpha_i$$

$$R = \frac{1}{2} \sum_{i=10}^{11} \alpha_i$$

### 7.1.2 - Grandezas a observar e dispositivos de monitoramento

Tendo em conta o valor obtido para o índice de risco global e as especificidades do local da barragem e da própria obra, referem-se em seguida as grandezas a observar, tendo como base às recomendações das Normas Portuguesas de Observação e Inspeção de Barragens (Quadro 7.2):

- deslocamentos superficiais;
- deslocamentos internos;
- vazão parcial;
- tensões neutras;
- níveis do reservatório;

**Quadro 7.2 - Grandezas a observar em barragens de aterro (Mínimo Recomendável)**

Altura da barragem (m)	Deslocamentos		Tensões Totais	Caudal de Infiltração	Tensões neutras		Precipitação Atmosférica	Sismologia
	Superficiais	Internos			Piezómetros	Piezómetros sem fluxo		
< 15	x se $\alpha_g > 15$ ou $R > 3$	-	-	x Caudal Total se $\alpha_g > 10$ ou $R \geq 3$	x se $\alpha_g > 10$ ou $R \geq 3$	-	-	x se $\alpha_g > 9$ com $\alpha_1 = 5$
15 a 30	x se $\alpha_g > 10$ ou $R \geq 3$	X se $\alpha_g > 20$	-	x Caudal Total	x	x se $\alpha_1 = 5$	(x)	x se $\alpha_1 = 5$
30 a 50	x	x se $\alpha_g > 10$ ou $R > 3$	(x)	x Caudal Parcial ou $R \geq 3$	x	x se $\alpha_1 \geq 4$	x se $R \geq 3$	x se $\alpha_1 \geq 4$
50 a 100	x	x	x	x Caudal Parcial	x	x	x	x se $\alpha_1 \geq 3$
> 100	x	x	x	x Caudal Parcial	x	x	x	x

x - Dispositivo obrigatório  
(x) - Dispositivo opcional

Para as grandezas referenciadas e no que respeita à Barragem de Figueiredo, recomenda-se a instalação dos seguintes dispositivos de observação (Des. 24 e 25):

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

A concepção do plano de monitoramento, designadamente a definição da quantidade de dispositivos, sua localização e tipo, visa uma adequada caracterização das diferentes grandezas de maneira a que estas sejam representativas do comportamento global da obra, em cada uma das diferentes fases da sua vida.

No Quadro 7.3 apresenta-se o número de dispositivos que, face à extensão da obra e especificidades, serão necessários para o adequado acompanhamento do seu comportamento e nos Quadros 7.4 a 7.7 faz-se a identificação dos diversos dispositivos, referindo-se nomeadamente, as suas cotas de instalação.

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 do plano de monitoramento.

**Quadro 7.3 – 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

**Quadro 7.4 - Identificação das Marcas Superficiais**

Perfil	Identificação	Cota	Localização
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

**Quadro 7.4 - Identificação das Marcas Superficiais (continuação)**

Perfil	Identificação	Cota	Localização
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
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

**Quadro 7.5 - Identificação dos Piezómetros 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)		Maciço de jusante
	P6.2	P6.2-1	(82,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	Fundação
		P6.2-2	(72,0)		Fundação

**Quadro 7.5 - Identificação dos Piezómetros Hidráulicos (continuação)**

Perfil	Identificação		Cota da Ponteira	Instalação / Cota	Localização no Perfil
	Piez.	Ponteira			
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)
P10.1-2			(80,0)	Fundação	
P10.1-3			(55,0)		
P10.2		P10.2-1	(85,0)	Coroamento - (103,5)	Núcleo
		P10.2-2	(75,0)		Interface núcleo - fundação
		P10.2-3	(61,0)		
P10.3		P10.3-1	(69,0)	Banqueta de jusante - (90,0)	Maciço de jusante
		P10.3-2	(64,5)		Interface fundação – dreno
		P10.3-3	(55,0)		Fundação
Perfil 11		P11.1	P11.1-1	(92,0)	Coroamento - (103,5)
	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)		

**Quadro 7.5 - Identificação dos Piezómetros Hidráulicos (continuação)**

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

**Quadro 7.6 - Identificação dos Medidores de Recalque**

Perfil	Identificação	Travessas	Cotas	Localização no Perfil
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)	
	R10.2 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)	
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)	

**Quadro 7.7 - 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

### Marcas superficiais

Com a função de controlar a evolução dos 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 e colocados os pilares de referência necessários, localizados em zonas a definir em obra, de adequada visibilidade e condições de fundação.

Prevê-se a instalação de marcas ao longo de todo o desenvolvimento da obra, visando o controlo desta grandeza em perfis representativos do comportamento da obra e condicionantes deste ponto de vista. 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 saturação dos materiais do maciço estabilizador de montante com a subida do nível no reservatório. Estes dispositivos serão instalados assim que os aterros atingirem a cota de instalação referida.

Os aterros dos maciços, em particular do maciço estabilizador de montante, deverão ser compactados 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 - para além de permitirem observar os assentamentos ao longo de perfis longitudinais paralelos ao eixo longitudinal da barragem, contribuirão para acompanhar os assentamentos do maciço estabilizador de jusante e aferir as características de deformabilidade adotadas na modelação do mesmo. Estas marcas serão instaladas assim que os aterros atingirem a cota de instalação dos dispositivos em causa.

De referir que tratam-se de dispositivos de fácil instalação e leitura e de reduzido custo, que muito contribuem para o adequado acompanhamento do comportamento da obra.

### Piezómetros hidráulicos

Com o objetivo de controlar a evolução da linha de saturação durante a exploração da obra, serão instalados 26 piezómetros hidráulicos no aterro e na fundação. A instalação será feita a partir do coroamento ou a partir da banquetta de jusante, em 13 perfis representativos das condições hidráulicas ocorrentes ao longo do desenvolvimento da barragem. Foram essencialmente privilegiados os perfis com maior carga hidráulica ou aqueles aos quais corresponderam resultados dos ensaios de injeção de água mais desfavoráveis.

A instalação dos piezómetros hidráulicos será realizada após a execução dos aterros até à cota da sua boca.

Serão instalados, no máximo, três piezómetros hidráulicos por furo, com trechos de captação a diferentes cotas. Os piezómetros 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 piezómetros que ficam instalados na fundação e no contato aterro-fundação o controlo dos respectivos níveis hidráulicos. O contacto aterro-fundação deve ser objeto de atenção particular, visando a deteção atempada de eventuais fenômenos anormais que possam conduzir, designadamente, a processos de erosão interna.

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

### Medidores de Recalque

Prevê-se a colocação de 7 medidores de recalque que permitem determinar os deslocamentos verticais internos sofridos pelo aterro da barragem ao longo da construção e, após esta, durante o primeiro enchimento e a fase de exploração.

Os critérios adotados na escolha dos perfis a instrumentar, num número de 5, foram essencialmente a altura do aterro, já que a deformabilidade da fundação é, neste caso, desprezável. Foram ainda selecionados os perfis de maior altura representativos dos boqueirões principais. Preconizando-se a instalação de 5 medidores no núcleo, em

alinhamentos verticais nas extremidades de montante ou de jusante do coroamento, e de 2 dispositivos no maciço estabilizador de jusante a partir da banqueteta.

Com a instalação de baterias no núcleo e no maciço estabilizador visa-se a determinação dos deslocamentos verticais internos de zonas do aterro com características de deformabilidade totalmente díspares.

Todos os medidores deverão ficar devidamente encastrados na fundação.

### Inclinómetros

Também no sentido de melhor auscultar o comportamento da barragem 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.

Os inclinómetros serão instalados após a conclusão dos aterros e deverão ficar encastrados na fundação.

### 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 betão e nas saídas da drenagem nos diversos boqueirões secundários, coincidentes com linhas de água, num total 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.

## **7.1.3 – Frequência das leituras**

A periodicidade de leitura dos dispositivos de observação está relacionada com as fases de vida da obra - construção, primeiro enchimento e exploração - e deve ter em consideração o tipo e dimensão da barragem, as características do local e os aspectos específicos da obra.

Tendo em conta os aspectos referidos, definiram-se as frequências de leitura indicadas no Quadro 7.8, para cada tipo de dispositivo e consoante a respectiva fase da vida da obra. Na definição daqueles valores foram ponderadas as frequências mínimas recomendadas pelas Normas de Observação e Inspeção de Barragens Portuguesas.

**Quadro 7.8 - Frequência de leituras**

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

(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, 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 observação deverão conduzir a uma boa compreensão do comportamento da obra, sendo a frequência de leituras definida em conformidade com este objetivo.

As frequências indicadas no Quadro 7.8 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.

#### **7.1.4 - Instalação dos dispositivos de monitoramento**

Os agentes encarregues da instalação e da exploração do sistema de monitoramento deverão possuir experiência na execução de trabalhos semelhantes. Os agentes encarregues da instalação deverão ainda ter qualificação técnica adequada à compreensão dos objetivos do sistema e capacidade de instalação dos equipamentos de acordo com as especificações técnicas.

Os agentes de exploração do sistema deverão supervisionar a sua instalação e ter qualificação técnica e capacidade adequadas às operações de recolha, validação e transmissão de dados e, ainda, à compreensão dos cenários de risco envolvidos e capacidade de deteção e aviso de eventuais comportamentos anômalos.

A instalação dos dispositivos deverá seguir as respectivas especificações técnicas.

A entidade responsável pela exploração do sistema de monitoramento deverá elaborar um relatório que inclua nomeadamente:

- a) desenhos gerais e de pormenor, localizando e caracterizando os aparelhos e respectivos acessórios;
- b) valor da leitura inicial dos dados;
- c) data e hora da colocação;
- d) condições mais significativas em que decorreu a colocação (estado do tempo, eventuais incidências dos processos construtivos na instalação, justificações presumíveis para eventuais danos que tenham implicado perda de informações, etc.);
- e) operações de correção de eventuais acidentes durante a colocação;
- f) justificação para o caso de colocações que não tenham sido efetuadas conforme o previsto no plano de monitoramento.

### 7.1.5 - Inspeção visual

A inspeção visual é uma forma rápida e expedita de avaliar preliminarmente a segurança da obra. A inspeção visual deverá assim ser de três tipos: rotina, especialidade e excepcional.

No Quadro 7.9 indicam-se as freqüências mínimas de inspeção visual, para as diferentes fases de vida da obra, estabelecidas tendo em conta as especificidades da obra.

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

**Quadro 7.9 - 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, patamares e fim do 1º enchimento ou esvaziamento rápido

Sugere-se, no caso da Barragem de Figueiredo, que as inspeções de carácter excepcional em fase de exploração sejam 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, 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 dependendo, obviamente, da fase de vida da obra em causa.

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 de assentamentos em zonas localizadas, erosões ou ravinamentos, 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-se, 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 incluem as fichas de inspeção devidamente preenchidas e uma reportagem fotográfica.

Em particular, 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, quer de rotina, quer de especialidade e excepcionais deverão ter experiência comprovada neste domínio e interpretar perfeitamente a trilogia de reconhecimento do problema, sua apreciação e valorização e capacidade de alerta de imediato em caso de uma presumível situação de risco.

## **7.2 – PLANO DE PRIMEIRO ENCHIMENTO**

O Plano de Primeiro Enchimento contém indicações sobre:

- i) inspeção visual contínua;

- ii) seleção de grandezas a observar, destinadas a um controlo expedito da segurança;
- 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.

### **7.2.1 - 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 7.1.5.

No primeiro caso - aspectos gerais da obra - trata-se de uma inspeção de rotina, de grande frequência, em princípio, no mínimo, mensal e sempre que se justifique.

Seria recomendável dispor de relatórios expeditos e objetivos com uma periodicidade mínima trimestral.

O segundo tipo de inspeção, de especialidade, mais ligado à observação 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 equipa de especialistas com experiência neste tipo de trabalho.

Estas interpretações 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, ainda, no final de cada época seca e da época de chuvas.

Os técnicos encarregados 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 nas modificações detectadas após o último relatório análogo.

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

### **7.2.2 - Grandezas a observar e frequência de recolha de dados**

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 7.1) faz-se uma descrição detalhada da seleção das grandezas objeto de leitura e respectivos dispositivos, bem como das frequências de leitura, designadamente, na 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 na albufeira, em intervalos inferiores a uma semana, se faça uma campanha de leituras suplementar dos piezómetros hidráulicos e dos caudais 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 drenadas 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 afluências importantes, as frequências de leituras definidas deverão ser reavaliadas. Caso o enchimento se iniciar no período úmido, nomeadamente em consequência de atrasos na construção da barragem, dever-se-á proceder à revisão e eventual modificação das frequências de leitura (Quadro 7.8).

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

### 7.2.3 - 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 anteriormente 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).

## 7.3 - ELEMENTOS A CONSIDERAR NA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA

A avaliação de segurança da obra deverá ter em conta a análise integrada da informação recolhida quer nas visitas de inspeção quer pela leitura, validação e interpretação das grandezas objeto da auscultação.

Deverá ter-se em conta, designadamente:

- i) as indicações obtidas nas inspeções visuais, durante as quais se procurará detectar, em tempo útil, eventuais fenómenos 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 superficiais, visando a detecção, em tempo útil, de eventuais movimentos anómalos da barragem. Espera-se que os deslocamentos verticais não ultrapassem, no final da construção, cerca de 1,0% 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 (cerca de 50%); sob a banquetta de jusante a perda de carga relativamente ao reservatório deve ser da ordem de 85 a 95%;
- 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 traduzir uma altura de água máxima acima da fundação e /ou do terreno natural a jusante 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.

## 8 – MEDIÇÕES

Subdivididos nos principais itens dos trabalhos a realizar, apresentam-se nos quadros seguintes as respectivas medições agrupadas nos seguintes capítulos:

I – Instalação do canteiro e serviços preliminares

II – Barragem

III – Tratamento de impermeabilização

IV – Instrumentação

V – Vertedouro

VI – Tomada de água

O texto dos itens de medição não pretende ser exaustivo, não discriminando pois a totalidade dos trabalhos respetivos a realizar e as suas condicionantes, devendo as respetivas metodologias, procedimentos e prescrições de execução atender às especificações técnicas, desenhos e memória do Projeto.

As principais quantidades do trabalho relativas às obras de construção civil são as que se resumem em seguida:

### Barragem

Escavação (m <sup>3</sup> ) .....	443 470
Aterros (m <sup>3</sup> ) .....	1 942 120

### Tratamento de impermeabilização

Comprimento de furação (ml) .....	1 260
Cimento de injeção (t).....	95

### Vertedouro

Escavação (m <sup>3</sup> ) .....	1 092 691
Concreto (m <sup>3</sup> ) .....	1 988

### Tomada de água

Escavação (m <sup>3</sup> ) .....	27 560
Concreto (m <sup>3</sup> ) .....	2 411
Tubulação em aço (kg).....	70 476

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO			CLIENTE:			
			 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH		DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL						
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS
<b>CUSTO TOTAL DA BARRAGEM FIGUEIREDO</b>						
<b>I</b>	<b>INSTALAÇÃO DO CANTEIRO E SERVIÇOS PRELIMINARES</b>					
1.1	Desmatamento, limpeza, regularização e preparação da área de implantação do canteiro, incluindo cercas, drenagem e revestimento das áreas de tráfego e estacionamento com pedrisco, em conformidade com as Especificações Técnicas.	1.2 Cap. 3	ha	1,00		
1.2	Implantação das instalações cobertas e fechadas de alojamentos, escritórios e depósitos, incluindo as instalações hidráulicas, sanitárias e elétricas.	1.2 Cap. 3	m <sup>2</sup>	400,00		
1.3	Implantação das instalações cobertas e abertas de depósitos, estacionamentos e oficinas.	1.2 Cap. 3	m <sup>2</sup>	200,00		
1.4	Desmatamento, destocamento e limpeza da área da barragem e órgãos hidráulicos.	1.4 Cap. 2	ha	60,00		
1.5	Estrada de acesso definitivo à barragem com faixa de 10,0 m e pista de rolamento de 6,0m de largura, com 0,20m de espessura mínima revestida em piçarra compactada, com valetas de drenagem, incluindo obras d'artes e passagens molhadas e aterros e cortes para conformação do greide.	1.5 - Cap. 3	km	3,50		
<b>II</b>	<b>BARRAGEM</b>					
<b>II.1</b>	<b>ESCAVAÇÕES</b>					
<b>1</b>	<b>Fundação dos aterros da barragem</b>					
1.1	Escavação comum em solo, dentro da linha de projeto, de acordo com as Especificações Técnicas, incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em bota-fora, com DMT=1,0 km.	II.1 4.1.4	m <sup>3</sup>	161.750,00		
1.2	Escavação especial (abaixo do nível freático), dentro da linha de projeto, incluindo todos os trabalhos necessários à ensecagem, carga, transporte, descarga e arrumação em bota-fora ou nos aterros, de acordo com as Especificações Técnicas, com DMT=1,0 km.	1.1 4.1.4	m <sup>3</sup>	213.300,00		
1.3	Escavação em rocha, dentro da linha de projeto, de acordo com as Especificações Técnicas, incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em estoques ou lançamento nos aterros, com DMT=1,0 km.	II.1 4.1.4	m <sup>3</sup>	8.520,00		
1.4	Desmonte de afloramentos rochosos, dentro da linha de projeto, incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em estoques ou lançamento nos aterros, com DMT=1,0 km.	II.1 4.1.4	m <sup>3</sup>	50.000,00		
1.5	Remoção de blocos soltos, dentro da linha de projeto, incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito, com DMT=1,0 km.	II.1 4.1.4	m <sup>3</sup>	2.500,00		

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO			CLIENTE:			
			 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH		DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL						
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS
<b>2</b>	<b>Valas de restituição da drenagem interna da barragem</b>					
2.1	Escavação comum em solo, dentro da linha de projeto, de acordo com as Especificações Técnicas, incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em bota-fora, com DMT=1,0 km.	II.1 Cap. 4	m <sup>3</sup>	4.120,00		
2.2	Escavação em rocha, dentro da linha de projeto, de acordo com as Especificações Técnicas, incluindo carga, transporte para posterior reposição do material nas valas.	II.1 Cap. 4	m <sup>3</sup>	4.600,00		
<b>II.2</b>	<b>PREPARO E TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES</b>					
1	Revestimento com concreto projectado da área da fundação do núcleo numa espessura de 10 cm, incluindo o preparo da superfície, fornecimento e aplicação dos materiais componentes do concreto.	IV.7 Cap. 6	m <sup>2</sup>	10.000,00		
2	Preenchimento superficial de fraturas, cavidades e irregularidades com concreto dental (15 MPa), incluindo fornecimento dos materiais e execução de acordo com as Especificações Técnicas.	II.2 Cap. 5	m <sup>3</sup>	1.000,00		
3	Limpeza com jacto de água e preenchimento com calda de cimento fluida, de diaclases sub-verticais abertas, incluindo fornecimento dos materiais e execução de acordo com as Especificações Técnicas.	II.2 Cap. 5	m <sup>3</sup>	750,00		
<b>II.3</b>	<b>ATERROS</b>					
<b>1</b>	<b>Barragem</b>					
1.1	Zona 1					
1.1.1	Aterro do núcleo com material silto-argiloso, proveniente de área de empréstimo (jazida 2), incluindo exploração, transporte, lançamento, espalhamento, compactação do material, ensaios, aterros experimentais e demais encargos constantes nas Especificações Técnicas, com DMT=7,0 km.	II.3 5.1.5	m <sup>3</sup>	389.220,00		
1.1.2	Aterro do núcleo com material silto-argiloso, proveniente de área de empréstimo (jazida 1 e/ou 3), incluindo exploração, transporte, lançamento, espalhamento, compactação do material, ensaios, aterros experimentais e demais encargos constantes nas Especificações Técnicas, com DMT=4,0 km.	II.3 5.1.5	m <sup>3</sup>	100.000,00		
1.2	Zona 2					
1.2.1	Execução do filtro sub-vertical com areia natural proveniente da exploração seletiva com processamento, na calha do rio, incluindo carga, transporte, lançamento, espalhamento, compactação, ensaios e demais encargos constantes das Especificações Técnicas, com DMT=2,0 km.	Cap. 5.2.3	m <sup>3</sup>	118.200,00		

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO		CLIENTE:		DATABASE Abril/2002		
		 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH				
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL						
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS
1.2.2	Execução de eventuais tapetes filtrantes com areia natural proveniente da exploração seletiva com processamento, na calha do rio, incluindo carga, transporte, lançamento, espalhamento, compactação, ensaios e demais encargos constantes das Especificações Técnicas, com DMT=2,0 km.	Cap. 5.2.3	m <sup>3</sup>	45.100,00		
1.3	Zona 3 - Execução de dreno subvertical e de tapete com brita proveniente da exploração e fabrico em pedreira, incluindo carga, transporte, lançamento, espalhamento, compactação, ensaios e demais encargos constantes das Especificações Técnicas.	Cap. 5.3.3	m <sup>3</sup>	84.500,00		
1.4	Zona 4 - Maciços estabilizadores					
1.4.1	Execução dos maciços estabilizadores (4) com material, de 2ª e 3ª categorias, proveniente do depósito das escavações obrigatórias para implantação do vertedouro, incluindo carga, transporte, lançamento, espalhamento, compactação, aterros experimentais, ensaios e demais encargos constantes nas Especificações Técnicas, com DMT=3,0 Km.	Cap. 5.4.3 a)	m <sup>3</sup>	975.700,00		
1.4.2	Execução dos maciços estabilizadores (4) com material de 2ª e 3ª categorias, proveniente da exploração em área de pedreira (dentro da bacia hidráulica), incluindo extração, carga, transporte, lançamento, espalhamento, compactação, aterros experimentais, ensaios e demais encargos constantes nas Especificações Técnicas, com DMT=3,0 Km.	Cap. 5.4.3 b)	m <sup>3</sup>	100.000,00		
1.5	Zona 5 e 5'. Enrocamento de protecção dos taludes.					
1.5.1	Colocação de rocha seleccionada proveniente das escavações para implantação do vertedouro, no talude de montante acima da cota (90,0) - material 5 - incluindo carga, transporte, preparação da superfície, espalhamento, arrumação à mão, ensaios e demais encargos constantes das Especificações Técnicas, com DMT=3,0 Km.	Cap. 5.5.2	m <sup>3</sup>	25.600,00		
1.5.2	Colocação de rocha seleccionada proveniente da exploração e fabrico em pedreira ( a instalar dentro da bacia hidráulica), no talude de montante acima da cota (90,0) - material 5 - incluindo extração, transporte, preparação da superfície, espalhamento, arrumação à mão, ensaios e demais encargos constantes das Especificações Técnicas, com DMT=3,0 Km.	Cap. 5.5.2	m <sup>3</sup>	25.600,00		
1.5.3	Colocação de rocha seleccionada proveniente das escavações obrigatórias, de material de 3ª categoria, para implantação do vertedouro, no talude de montante abaixo da cota (90,0) e no talude de jusante, incluindo carga, transporte, preparação da superfície, espalhamento, arrumação à mão, ensaios e demais encargos constantes das Especificações Técnicas, com DMT=3,0 Km.	Cap. 5.5.2	m <sup>3</sup>	39.100,00		

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO			CLIENTE:			
			 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH		DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL						
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS
1.5.4	Colocação de rocha seleccionada proveniente da exploração e fabrico em pedreira, no talude de montante abaixo da cota (90,0) e no talude de jusante, incluindo extração, transporte, preparação da superfície, espalhamento, arrumação à mão, ensaios e demais encargos constantes das Especificações Técnicas, com DMT=3,0 Km.	Cap. 5.5.2	m <sup>3</sup>	39.100,00		
1.6	Distância de transporte adicional de material fino para aterro do núcleo (Zona 1)	Cap 5	m <sup>3</sup> .Km	250.000,00		
1.7	Distância de transporte adicional de material de enrocamento (Zonas 4, 5 e 5').	Cap 5	m <sup>3</sup> .Km	420.000,00		
<b>2 Aterros de reposição de escavações</b>						
2.1	Aterro de solo residual proveniente do depósito das escavações no preenchimento da zona de escavação junto ao pé de montante da barragem, na zona do leito de cheias, incluindo carga, transporte, lançamento, espalhamento e compactação, de acordo com as Especificações Técnicas, com DMT=2,0 Km.	Cap. 5.3.3	m <sup>3</sup>	22.600,00		
2.2	Aterro de material aluvionar selecionado (granular) no preenchimento da zona de escavação junto ao pé de jusante da barragem, na zona do leito de cheias, incluindo carga, transporte, lançamento, espalhamento e compactação, de acordo com as Especificações Técnicas, com DMT=2,0 Km.	Cap. 5.3.3	m <sup>3</sup>	23.000,00		
<b>II.4 DIVERSOS</b>						
1	Revestimento do coroamento com cascalho, incluindo fornecimento dos materiais, carga, transporte, lançamento, espalhamento e compactação de acordo com a especificações técnicas.	II.3 Cap. 8.2	m3	13.040,00		
3	Canaleta de concreto $\phi$ 300 mm na banquetta de jusante, incluindo fornecimento, colocação e todos os demais trabalhos necessários, de acordo com as Especificações Técnicas.	IV.8 Cap. 1.4	m	1.670,00		
4	Valeta em brita argamassada na inserção do aterro na fundação a jusante, incluindo fornecimento dos materiais, espalhamento, compactação e demais trabalhos técnicos de acordo com as Especificações Técnicas.	IV.8 Cap. 1.4	m	3.000,00		
5	Elementos pré-fabricados em concreto no coroamento, a montante e a jusante incluindo fornecimento, colocação e todos os demais trabalhos acessórios e complementares necessários, de acordo com as Especificações Técnicas.	IV.8 Cap. 6	m	6.520,00		
6	Defensa metálica semi-maleável no coroamento da barragem, fabricada segundo as normas NBR 6970/6971 e NBR 6323, com camada mínima de proteção de 350g/m <sup>2</sup> de zinco, incluindo fornecimento, colocação e todos os demais trabalhos acessórios e complementares necessários.	II.4	m	6.000,00		

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO			CLIENTE:			
			 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH		DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL						
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS
<b>III</b>	<b>TRATAMENTO DE IMPERMEABILIZAÇÃO</b>					
<b>1</b>	<b>Cortina de impermeabilização</b>					
1.1	Perfuração incluindo montagem e desmontagem da sonda e equipamento complementar em cada local de furação.					
1.1.1	Perfuração para injeção. Solos	Cap. 5	m	460,00		
1.1.2	Perfuração para injeção. Rocha	Cap. 5	m	800,00		
1.1.3	Reperfuração de furos já injetados	Cap. 5	un	80,00		
1.2	Ensaio de absorção de água tipo Lugeon em troços de 5 m com três patamares de pressão.	Cap. 5	un	125,00		
1.3	Injeção					
1.3.1	Injeções pelo método ascendente (5 m).	Cap. 5	un	160,00		
1.3.2	Injeções pelo método descendente (5 m).	Cap. 5	un	16,00		
1.4	Materiais para as caldas de injeção					
1.4.1	Cimento.	Cap. 5	ton	95,00		
1.4.2	Bentonite.	Cap. 5	ton	3,00		
1.4.3	Areia.	Cap. 5	m3	5,00		
1.5	Sondagens com recuperação de testemunho, diâmetro NX.	Cap. 5	m	150,00		
1.6	Fornecimento e aplicação de tubos					
1.6.1	De revestimento de furos de injeção para cortinas de impermeabilização nos trechos superficiais em terreno mole.	Cap. 5	m	50,00		
<b>IV</b>	<b>INSTRUMENTAÇÃO</b>					
1	Marcos superficiais, incluindo todas as operações e materiais necessários à sua execução, conforme Especificações Técnicas.	Cap. 4	un	56,00		
2	Marcas de referência, incluindo todas as operações e materiais necessários à sua execução, conforme Especificações Técnicas	Cap. 4	un	6,00		
3	Baterias de recalque tipo USBR, incluindo fornecimento de todo o equipamento e material necessários, transporte e instalação acompanhando a subida do aterro e restantes operações, conforme Especificações Técnicas	Cap. 4	un	7,00		
4	Tubos inclinométricos, incluindo furação, fornecimento, transporte e instalação de todo o equipamento e material necessário à sua instalação e adequado funcionamento, conforme Especificações Técnicas.	Cap. 4	un	5,00		

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO			CLIENTE:			
			 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH		DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL						
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS
5	Piezômetros hidráulicos executados a partir do aterro, incluindo furação, fornecimento de tubos de PVC, materiais de preenchimento, geotextil de envolvimento da ponteira, transporte de todo o equipamento e material necessário à sua instalação em conformidade com as Especificações Técnicas.	Cap. 4	un	26,00		
6	Medidores de vazão incluindo todos os trabalhos, materiais e equipamentos necessários à sua entrada em serviço.	Cap. 4	Vg	1,00		
7	Escalas limnimétrica na estrutura de entrada da tomada de água e no vertedouro, incluindo fornecimento, transporte, todos os materiais e operações necessárias à sua instalação e leitura, conforme Especificações Técnicas.	Cap. 4	un	2,00		
<b>V</b>	<b>VERTEDOURO</b>					
<b>1</b>	<b>Escavações para Implantação do Canal de Aproximação</b>					
1.1	Escavação em solo (material de 1ª categoria), incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	30.975,53		
1.2	Escavação em terreno ripável (material de 2ª Categoria), incluindo carga, transporte até 300 m, descarga arrumação em depósito em bota fora.	II.1 4.1.4	m³	9.987,89		
1.3	Escavação em rocha (material de 3ª categoria), incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	197.593,51		
<b>2</b>	<b>Escavações para Implantação da Soleira do Vertedouro</b>					
2.1	Escavação em solo (material de 1ª categoria), incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	1.051,81		
2.2	Escavação em terreno ripável (material de 2ª Categoria) para fundação da soleira do vertedouro, incluindo carga, transporte até 300 m, descarga arrumação em depósito em bota fora.	II.1 4.1.4	m³	210,74		
2.3	Escavação em rocha (material de 3ª categoria) para fundação da soleira do vertedouro, incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	8.951,37		
2.4	Escavação controlada em rocha (material de 3ª categoria) da seção hidráulica do canal de restituição.	II.1 4.1.4	m³	1.297,00		

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO			CLIENTE:			
			 GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH		DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL						
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS
<b>3</b>	<b>Escavações para Implantação da Canal "Rápido"</b>					
3.1	Escavação em solo (material de 1ª categoria) , incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	25.291,38		
3.2	Escavação em terreno ripável (material de 2ª Categoria), incluindo carga, transporte até 300 m, descarga arrumação em depósito em bota fora.	II.1 4.1.4	m³	16.662,20		
3.3	Escavação em rocha (material de 3ª categoria), incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	316.684,53		
<b>4</b>	<b>Escavações para Implantação da Bacia de Dissipação</b>					
4.1	Escavação em solo (material de 1ª categoria) , incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	5.967,45		
4.2	Escavação em terreno ripável (material de 2ª Categoria), incluindo carga, transporte até 300 m, descarga arrumação em depósito em bota fora.	II.1 4.1.4	m³	10.234,34		
4.3	Escavação em rocha (material de 3ª categoria), incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	94.956,06		
<b>5</b>	<b>Escavações para Implantação da Canal de Restituição Trecho Inicial</b>					
5.1	Escavação em solo (material de 1ª categoria) , incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	122.531,40		
5.2	Escavação em terreno ripável (material de 2ª Categoria), incluindo carga, transporte até 300 m, descarga arrumação em depósito em bota fora.	II.1 4.1.4	m³	25.029,38		
5.3	Escavação em rocha (material de 3ª categoria), incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II.1 4.1.4	m³	225.266,00		
<b>6</b>	<b>Soleira do Vertedouro</b>					
6.1	Concreto armado (fck 25 MPA) na execução da soleira e muros do vertedouro, incluindo, formas e armaduras, fornecimento e colocação, assim como todos os demais trabalhos técnicos necessários à sua execução.	III 1.3	m³	951,25		
6.2	Concreto simples (fck 20 MPA) na execução da soleira e muros do vertedouro, incluindo, formas e todos os demais trabalhos técnicos necessários à sua execução.	III 1.3	m³	1.037,00		
6.3	Junta elástica pré-moldada tipo FUNGENBAND ou similar.	III 1.12.2	m	144,00		

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO		CLIENTE:		GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH			DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL								
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS		
6.4	Execução de furos, diâmetro 3" por rotopercussão em rocha para fixação das barras de ancoragem de $\phi$ 32mm, com injeção de calda de cimento fck>ou=20MPA (traço 1:0,5, cimento:água, com lançamento gravitacional).		m <sup>3</sup>	1.530,00				
6.5	Fornecimento e aplicação de barras de aço CA-50, $\phi$ 32mm para ancoragem da soleira		m <sup>3</sup>	10.258,00				
<b>VI DESVIO PROVISÓRIO, TOMADA DE ÁGUA E DESCARGA DE FUNDO</b>								
<b>1 Escavação para implantação das estruturas (galeria, torre de tomada e bacia de dissipação)</b>								
1.1	Escavação em solo (material de 1ª categoria) para canais de aproximação e restituição, fundação da galeria, da torre de tomada e da câmara das válvulas de dissipação, incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II 4.1.4	m <sup>3</sup>	10.195,58				
1.2	Escavação em terreno ripável (material de 2ª categoria) para canais de aproximação e restituição, fundação da galeria, da torre de tomada e da câmara das válvulas de dissipação, incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II 4.1.4	m <sup>3</sup>	5.127,58				
1.3	Escavação controlada em rocha (material de 3ª categoria) para canais de aproximação e restituição, fundação da galeria, da torre de tomada e da câmara das válvulas de dissipação, incluindo carga, transporte, descarga e arrumação em depósito.	II 4.1.4	m <sup>3</sup>	12.237,00				
1.4	Execução de enrocamento na zona de transição entre a estrutura de tomada d'água e os canais de aproximação e restituição, com enrocamento selecionado (mat.3), proveniente de exploração na área do reservatório, incluindo carga, transporte, descarga, espalhamento e compactação.	Cap. 5.5.2	m <sup>3</sup>	668,00				
<b>2 Concreto da Tomada D'água</b>								
2.1	Concreto armado (fck>ou=25 MPA) na execução da torre de tomada, passarela de acesso a torre, galeria e câmara das válvulas dispersoras de jusante, incluindo, formas e armaduras, fornecimento e colocação, assim como todos os demais trabalhos técnicos necessários à sua execução.	III 1.3	m <sup>3</sup>	1.538,00				
2.2	Concreto simples (fck>ou=20 MPA) na execução da torre de tomada, passarela de acesso a torre, galeria e câmara das válvulas dispersoras de jusante, incluindo, formas e todos os demais trabalhos técnicos necessários à sua execução.	III 1.3	m <sup>3</sup>	289,00				
2.3	Concreto para enchimento e regularização (30% de pedra; fck =15 MPa) na execução da torre de tomada, passarela de acesso a torre, galeria e câmara das válvulas dispersoras de jusante, incluindo formas e todos os demais trabalhos técnicos necessários à sua execução.	III 1.3	m <sup>3</sup>	423,00				

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO		CLIENTE:		GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH			DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL								
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS		
2.4	Concreto armado especial (fck 30 MPA) para chumbamento de equipamentos e revestimento de regiões com velocidade de escoamento elevada, incluindo todos os componentes.	III 1.3	m³	50,00				
2.5	Concreto protendido (fck=40 MPa) na execução das vigas pré-moldadas da passarela de acesso a torre, incluindo forma, armadura passiva e ativa, serviço protensão, equipamento e acessórios, transporte e montagem.	III 1.3	m³	18,50				
2.6	Concreto protendido (fck=40 MPa) na execução das lajes alveolares (h=9,0 cm) pré-moldadas, da passarela de acesso a torre, incluindo armadura, serviço de protensão, vigas pré-moldadas da passarela de acesso a torre, incluindo forma, armadura passiva e ativa, serviço protensão, equipamento e acessórios, transporte e montagem.	III 1.3	m³	87,60				
2.7	Concreto armado (fck = 25 MPa) para execução do capeamento da base da passarela de acesso a torre, incluindo fabricação, armadura, lançamento, adensamento, acabamento e cura.	III 1.3	m³	4,50				
<b>3</b>	<b>Equipamentos hidro-electromecânicos</b> (com preços, incluindo todos os seguintes custos, projeto de execução, fabricação, revestimentos, transporte, montagem, controle de qualidade, teste e todos acessórios para completa montagem e operação, inclusive interligações de força, controle, sinalização elétrica, independentemente de citação no item específico ou nas especificações técnicas)							
3.1	Projeto Executivo, com memória de cálculo, fabricação, montagem e teste de funcionamento de grade para tomada d'água (largura) 3,40m x 4,00m (altura) em barras de aço, considerando uma carga de entupimento de 30 Kpa, conforme Norma ABNT NB 1098, com rodas, guias e hastes para sua instalação, movimentação e retirada, peças fixas e hastes de acionamento, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.	V 2.1	ud	1,00				
3.2	Projeto executivo, fabricação, montagem e teste de funcionamento de uma comporta tipo vagão, para acionamento com fluxo (pressões desequilibradas), em chapas de aço e vedação em neoprene (para pressão estática máxima de 30 m.c.a), com dimensões nominais de (largura) 1,60m x 2,00 (altura), com comporta by-pass 0,20m x 0,20m incorporada nela, incluindo peças fixas e haste de acionamento, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.	V 2.2	ud	1,00				
3.3	Projeto, fabricação, montagem e teste de funcionamento de monovia com comprimento nominal de 9,25m controle manual, com talha elétrica para 7,5 ton. , com cabo de aço, altura de içamento de no mínimo 6,0m, com motor elétrico trifásico 380V, com freio, com sistema de partida do motor que controla torque e velocidade, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.	V 2.6	ud	1,00				

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO		CLIENTE:		GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH			DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL								
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS		
3.4	Projeto, fabricação e montagem de tubo de aço carbono para a tomada d'água, em chapa lcom espessura de 12,7mm, DN 2000mm, comprimento nominal de 120m, incluindo reduções 2000 x 1400, conexão y, dreno DN 150, janela de visita e todos os flanges necessários para montagem das válvulas e conexões, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.	V 2.5	kg	70.476,00				
3.5	Projeto, fabricação, montagem e teste de funcionamento de válvula borboleta DN 1400 PN 10, flangeada, acionamento manual por volante e mecanismo de redução, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.	V 2.3	ud	2,00				
3.6	Projeto, fabricação, montagem e teste de funcionamento de junta Dresser DN 1400 PN 10, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.		ud	2,00				
3.7	válvula dispersora DN 1400, PN 10, para controle de vazão em operação normal de 0,05 a 6,0 m³/s e emergencial de até 17,0 m³/s com câmara envolvente em aço para direcionar o fluxo, com curvas de vazão e perda de carga selhantes as apresentadas nos gráficos das especificações técnicas e meorial descritivo não se difrenciando desses em mais de 10%, com acionador mecânico manual e acionamento elétrico automatizado, com controle de velocidade de abertura e de fechamento, com controle de torque com sensores de pressão à montante e de nível à jusante e transmissão de dados para Fortaleza, para fins de monitoramento e acionamento, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.	V 2.4	ud	2,00				
3.8	Projeto, fabricação, montagem e teste de funcionamento de monovia com comprimenro de 15m, equipada com talha manual de corrente com capacidade nominal de 5 ton e capacidade de elevação da carga de no mínimo 7,0m, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.	V 2.7	ud	2,00				
3.9	Fornecimento, montagem e teste de funcionamento de grupo gerador a diesel, potência mínima 10 KVA, partida elétrica, acionável local e de Fortaleza, incluindo interligação aos equipamentos elétricos da torre, à montante de barragem e aos equipamentos elétricos de controle de fluxo à jusante da barragem, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.	V 2.8	ud	1,00				
3.10	Fornecimento, montagem e teste de funcionamento de soprador com potência de 2 CV, incluindo tubos de distribuição nos fossos das comportas, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.	V 2.9	ud	1,00				
3.11	Projeto, fabricação, montagem e teste de escadas em aço inoxidável para as fossas das comportas, fossas das válvulas borboletas, fossas das válvulas dispersoras. Para acesso às monovias da torre e da casa de manobra das válvulas, conforme desenho de concepção básica apresentado.	V 2.10	kg	900,00				

BARRAGEM DE FIGUEIREDO DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO		CLIENTE:		GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH			DATABASE Abril/2002	
ESTIMATIVA ORÇAMENTAL								
ITEM	DESCRIÇÃO	ET	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNITÁRIOS	TOTAIS		
3.12	Projeto, fabricação e montagem de tampas metálicas em chapa corrugada para as fossas das comportas, das válvulas dispersoras e da grade, conforme desenho de concepção básica apresentado.	V 2.11	kg	500,00				
3.13	Projeto, fabricação e montagem de portões metálicos para a casa de comando na torre da tomada d'água e para a casa de comando das válvulas dispersoras, conforme desenho de concepção básica apresentado.		kg	2.200,00				
3.14	Fabricação e fornecimento de bancada de serviços com morsa em chapas de aço, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.		ud	1,00				
3.15	Fabricação e fornecimento de 5 módulos (1,0 x 0,5 x 2,01 m) de armário em chapa de aço com portas, fechadura, prateleiras e gavetas para guardar cópias de manuais e literatura técnica e fornecimento de conjunto ferramentas necessárias à manutenção dos equipamentos hidromecânicos e eletromecânicos da tomada d'água, incluindo chaves fixas, chaves combinadas, chaves Allen, alicates, marteletes e demais ferramentas portáteis de uso habitual em oficinas e que sejam necessárias aos serviços acima referidos, conforme desenho de concepção básica apresentado.		ud	1,00				
3.16	Fornecimento de guarda-corpo portátil, em colunas metálicas e barras horizontais em fitas de nylon trançado, com ajustagens, para proteção quando um ou dois fossos estiverem com as tampas abertas ou retiradas, conforme Especificações Técnicas e desenho de concepção básica apresentado.		ud	5,00				
3.17	Medidor ultrassônico de vazão, conforme especificações, montado e aferido na tubulação principal de DN 2000mm, com registrador de leitura e saídas anaalógica e digital.		ud	1,00				
3.18	Projeto executivo, fornecimento, construção e intalação de instalações elétricas da tomada d' água e dos pontos de força, comando e iluminação necessários para operação de todos os equipamentos fornecidos.		vb	1,00				
<b>VII Limpeza da Área do Reservatório.</b>								
3.18	Limpeza da área a ser inundada pelo reservatório incluindo desmatamento, destoca, enleiramento, encoivramento e remoção das cinzas.	1.4	ha	3.800,00				

## **9 – CRONOGRAMA DE TRABALHOS**

### **9.1 – INTRODUÇÃO**

Com o objetivo de definir um programa de trabalhos adequado à construção da barragem do Figueiredo e suas estruturas e infraestruturas anexas, foram discretizadas e sistematizadas a maior parte das frentes de trabalho significativas e equacionaram-se os procedimentos, condicionantes e períodos de execução inerentes, tendo-se obtido o cronograma que se apresenta junto (Quadro 9.1), a que corresponde um prazo de execução da obra de 36 meses. Nos Des. 25 e 26 apresenta-se, respectivamente, o modo de avanço dos trabalhos referenciado a seis períodos da empreitada e o programa de trabalhos preconizado.

A ponderação efetuada relativamente às múltiplas frentes de trabalho da obra permitiu identificar as seguintes áreas de intervenção fundamentais da empreitada, seja pela dimensão das atividades inerentes, seja pela sua especificidade e complexidade ou, ainda, pelo fato de se constituírem como atividades no caminho crítico do programa de trabalhos e/ou serem de grande enfoque para a segurança da obra:

- i) Canteiro, acessos de obra e instalações gerais
- ii) Galeria de derivação e tomada de água
- iii) Preparação de manchas de empréstimo, pedreiras e aterros experimentais
- iv) Tratamento da fundação
- v) Corpo da barragem
- vi) Vertedouro
- vii) Torre de tomada de água e câmara de manobra
- viii) Trabalhos de finalização da barragem
- ix) Desmatção, reflorestação, integração paisagística e preservação ambiental

As problemáticas de controlo das vazões do rio e seu desvio e da gestão de materiais, pelas respetivas especificidades, e por se tratarem de atividades complementares da obra essenciais para o bom desenvolvimento dos trabalhos e para o cumprimento do cronograma que se apresenta, serão objeto de tratamento particular nos itens seguintes, respectivamente, 9.2 e 9.3.



## 9.2 – CONTROLO E DESVIO DO RIO DURANTE A CONSTRUÇÃO

O controlo e desvio do rio Figueiredo para a construção da barragem tem aspetos particulares associados ao seu regime hidrológico específico e às características do vale.

Efetivamente, o rio Figueiredo tem um regime hidrológico típico dos rios nordestinos, com vazões importantes de Fevereiro a Maio, alguma vazão em Janeiro e Junho e menor em Julho e praticamente vazões nulas de Agosto a Dezembro. Acresce ainda um comportamento interanual muito irregular.

Por outro lado, as vazões e volumes de cheia do rio são muito elevadas e não permitem a sua compatibilização com as dimensões habituais das estruturas de derivação.

O eixo da barragem tem grande extensão, cerca de 3 km, implantando-se a obra num vale de topografia muito ondulada, dotada de um vale principal, integrando o leito menor e o leito de cheias do rio, com cerca de 200 m de desenvolvimento, e de vários sub-vaes secundários, delimitados por afloramentos rochosos vigorosos. A menos da calha do rio, da área de inundação adjacente e das zonas de alteração e de depósitos coluvionares nas áreas baixas dos vales secundários, o substrato rochoso aflora freqüentemente ou ocorre a muito pequena profundidade.

Assim sendo e face à altura moderada da obra, 33,5 m acima do terreno natural e à morfologia do vale - que está particularmente vocacionada para a construção da barragem por partes - assumiu-se a passagem das vazões do rio através de uma brecha com cerca de 170 m de largura, situada na calha do rio e interessando as áreas de depósitos aluvionares de inundação adjacentes.

Prevê-se a escavação das aluviões silto-arenosas do leito de cheias, de modo a regularizar a cota de fundo da brecha pela cota inferior da calha, portanto cerca da (70), melhorando a seção de vazão respectiva e assegurando uma altura de 4 m até cerca da (74) - cota aproximada a partir da qual se iniciarão os aterros nas duas margens. Assumiu-se um talude de 3:1 (H:V) para a interface entre aterros do núcleo de idade diferente que terão de ser devidamente ligados, utilizando os materiais mais finos e plásticos e colocando-os do lado úmido na faixa de contato dos aterros, após escavação de endentamento no aterro existente.

Entretanto, ainda na fase inicial dos trabalhos de construção da barragem, será construída a galeria de tomada, localizada no vale principal, na margem direita, e materializada por uma

tubulação metálica de 2.00 m de diâmetro, envolvida em concreto e devidamente encastrada no substrato rochoso.

Os trabalhos de construção da barragem prosseguirão, subindo em continuidade os aterros no vale principal fora da área da brecha e nos vales secundários até ao final do período de vazões importantes ou significativas do segundo ano de construção (Maio-Junho do ano 2).

Após esse período, e no seguimento da execução de pré-ensecadeiras expeditas de encaminhamento das vazões para a galeria – que neste período cumprirá funções de órgão de derivação - e de proteção dos trabalhos de terraplanagem nas zonas mais baixas da brecha, iniciar-se-ão os trabalhos de escavação de saneamento das formações aluvionares da área de inundação do vale e de execução subsequente dos aterros nessa zona.

De modo a reduzir a altura da brecha, assumiu-se para a cota à qual esta seria fechada a (92), cota para a qual a capacidade de armazenamento criada no reservatório já permitirá o encaixe de uma cheia com um período de retorno de cerca de 50 anos, fazendo-se o escoamento para vazões reduzidas e em períodos mais secos pela galeria de derivação e de tomada de água.

Prevê-se que antes do final do ano 2 se concluam os aterros do núcleo na zona da brecha e que até final de Janeiro do ano 3 se concluam os restantes aterros da barragem dessa zona (aterros de enrocamento, filtros e drenos). O volume total de aterro necessário ao fecho da brecha é de cerca de  $510 \times 10^3 \text{m}^3$ .

Refira-se que, nas duas ombreiras, os afloramentos rochosos que demarcam os vales secundários criam zonas que poderão subir com alguma autonomia, aproveitando fases de maior disponibilidade de materiais e equipamentos. Efetivamente, nos últimos 200 m da ombreira direita e em cerca de 1100 m da ombreira esquerda, o topo dos vales secundários criados permite a subida relativamente independente dos aterros, não criando interfaces de ligação do aterro de idade diferente ou sendo estas de muito pequena altura (não ultrapassando cerca de 4 m).

Assim sendo, prevê-se que os aterros do núcleo, dos filtros e drenos e de parte dos enrocamentos da barragem se concluam antes do período de maior pluviosidade do ano 3 e que os aterros gerais da barragem estejam concluídos no final de Agosto desse ano. O volume total de aterro correspondente ao trecho central do vale acima da cota (92) é cerca de  $95 \times 10^3 \text{m}^3$ .

O vertedouro estará concluído no final do ano 2, de modo a permitir a necessária segurança à elevação final dos aterros para a cota de coroamento e a possibilitar a sua utilização em caso de subida anormal do nível de água no reservatório.

### **9.3 - GESTÃO DE MATERIAIS**

Face aos volumes de material de aterro e de enrocamento necessários para a obra e à localização das principais jazidas reconhecidas - que de modo sintético se sistematiza na Fig. 9.1 e no Quadro 9.2 - foi assumido um princípio de gestão de materiais, ponderando o necessário conservadorismo e preservando a possibilidade de, em obra, face às reais condições a encontrar, se poder equacionar outros modos organizativos, para o que se dispõe de volumes superabundantes nas respetivas jazidas.

Assim sendo, assumiu-se que grande parte dos materiais para o núcleo seriam obtidos da jazida 2 que corresponde à jazida que tem claramente melhores condições de exploração e de acessibilidade, assim como de homogeneidade de comportamento e espessura dos solos, pese embora a sua maior distância e o fato de corresponder a uma área que não será inundada pelo reservatório a criar.

Considerou-se ainda pertinente assumir a hipótese de exploração de parte dos solos para o núcleo das jazidas 1 e/ou 3, sobretudo nas áreas em que haja necessidade de execução de aterros em pontos mais afastados da jazida 2, designadamente na ombreira direita, embora a estas duas jazidas corresponda uma menor espessura de material utilizável, alguma variabilidade de comportamento e acessibilidade mais condicionada, sobretudo no caso da jazida 3 cujos materiais caracterizados exibem ainda resistência ao corte inferiores aos das jazidas 1 e 2. No entanto, a maior proximidade da obra poderá eventualmente justificar a exploração destas jazidas, designadamente, no que se refere à sua utilização para os aterros do núcleo na margem direita.

No que se refere aos materiais de enrocamento dos maciços estabilizadores da barragem, o conceito seguido foi o da reutilização da quase totalidade dos materiais de escavação do vertedouro e também de outras escavações em rocha (fundação da barragem e tomada d'água). Efetivamente, o volume de enrocamento disponível, proveniente essencialmente das escavações do vertedouro - e tendo já em consideração um fator de empolamento de 20% - é da ordem de  $1,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ , sendo que o volume necessário para utilização nos maciços e na proteção dos taludes da barragem é de  $1,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

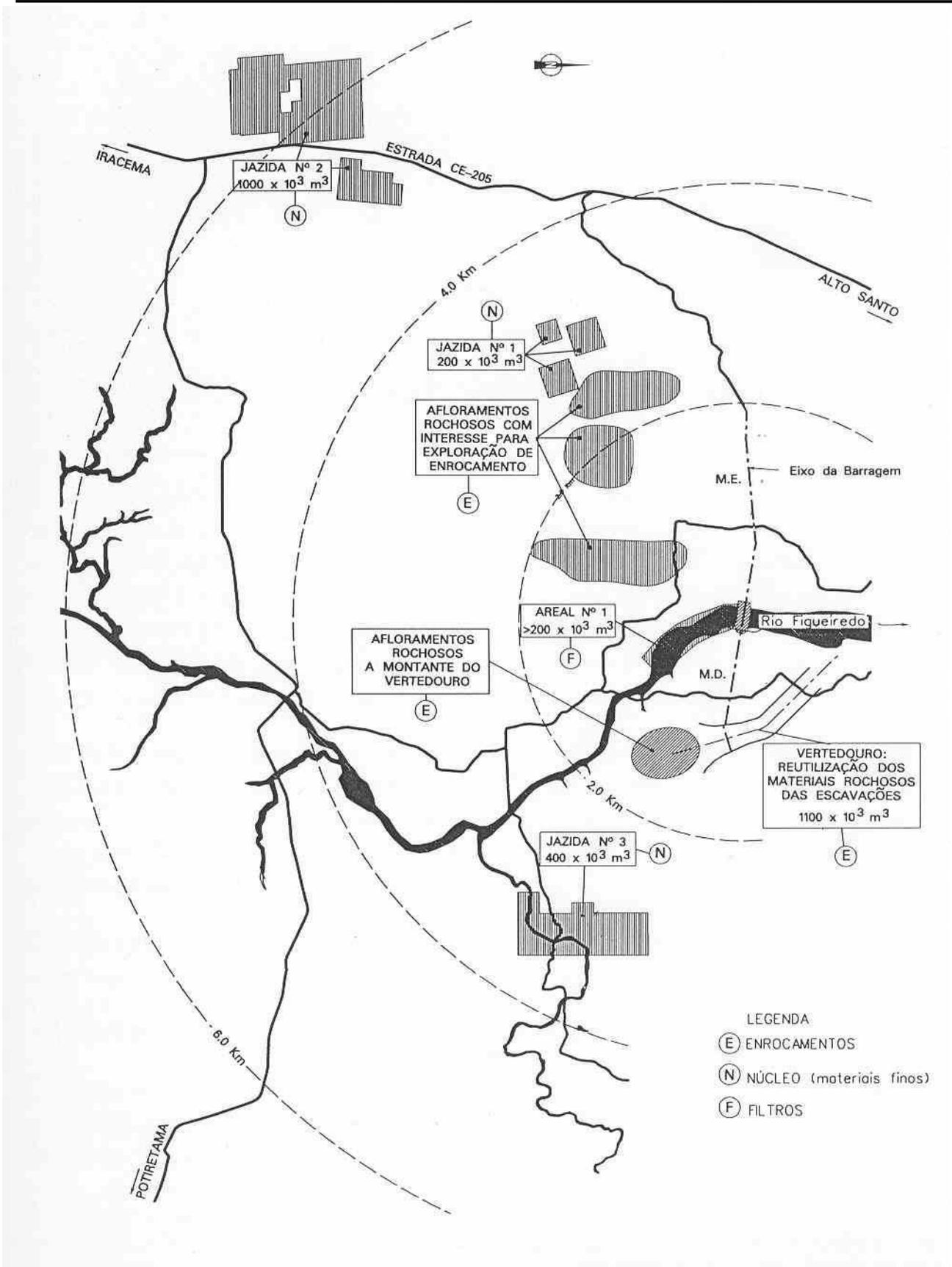


FIG. 9.1 – BARRAGEM DE FIGUEIREDO EXPLORAÇÃO DE MATERIAIS

**Quadro 9.2 - Exploração de Materiais**

Materiais de projeto	Quantidades necessárias (x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )				Disponibilidades (x10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> )			
	Omb. Esq.	Vale	Omb. Dir.	Totais	Empréstimos			Total
Núcleo (1)	260	137,5	92,5	490	Jaz. 1 200	Jaz. 2 1000	Jaz. 3 400	1600
Filtros (2)	84,5	39,5	39,5	163,5	Areal nº 1 > 200			> 200
Drenos (3)	46,5	18,5	20	85	Pedreira .....			.....
Enrocamentos (4, 5, 5')	204,5	377	624,5	1206	Esc. Vertedouro e outras 1100	Afloram. Montante > 500		> 1600

Deste modo e face à maior exigência granulométrica dos enrocamentos de proteção dos taludes, assumiu-se, conservativamente, que cerca de metade do volume destes enrocamentos (65 000 m<sup>3</sup>) seria obtido de exploração em pedreira com requisitos específicos de desmonte, e que cerca de 100 000 m<sup>3</sup> de materiais de enrocamento para os maciços estabilizantes teriam igualmente de ser obtidos a partir do local de pedreira, designadamente, através da exploração dos inúmeros afloramentos ocorrentes e identificados a montante do vertedouro e ao longo de alinhamentos regionais na ombreira esquerda.

Para os materiais de filtro, a disponibilidade na calha do rio de volumes superabundantes, seja das escavações necessárias à obra, seja de locais imediatamente a montante, permite assumir, sem dificuldades de maior, a sua utilização, ainda que após algum tratamento (designadamente, escavação seletiva, lavagem, processamento, etc.) para cumprimento das especificações granulométricas requeridas.

Os materiais de dreno, dado as suas características granulométricas, deverão ser obtidos de pedreira em exploração ou através de infra-estrutura específica de britagem a instalar na obra.

#### **9.4 - DEFINIÇÃO DO PROGRAMA DE TRABALHOS**

O programa de trabalhos inerente à construção da Barragem do Figueiredo e estruturas anexas foi estabelecido tendo essencialmente em conta as atividades que se discretizam no Quadro 9.1.

A definição deste programa admite o início da obra no mês de Janeiro do primeiro ano, podendo ou devendo sofrer alguns ajustamentos caso ela venha a iniciar-se noutra época do ano. Este fato deve-se à influência das vazões do rio e da época úmida sobre o faseamento dos trabalhos, seja no que concerne ao controlo e derivação dessas vazões, seja nas implicações nas frentes de escavação e concretagem e, sobretudo, nos aterros. Refira-se, a

propósito, que as aflúncias mensais dos meses de Agosto a Dezembro são nulas a muito reduzidas.

Para o estabelecimento do programa de trabalhos foram considerados os seguintes valores de ordem de grandeza dos ritmos de trabalho para as ações com maior volume de trabalho:

- escavação para saneamento da fundação nas ombreiras..... 30 000 m<sup>3</sup>/mês
- escavação para implantação da galeria de derivação provisória .. 7 500 m<sup>3</sup>/mês
- escavação para implantação de vertedouro ..... 70 000 m<sup>3</sup>/mês
- concretagem da torre ..... 250 m<sup>3</sup>/mês
- concretagem da galeria de tomada ..... 600 m<sup>3</sup>/mês
- concretagem do vertedouro..... 750 m<sup>3</sup>/mês
- aterros de materiais argilosos do núcleo ..... 45 000 m<sup>3</sup>/mês
- aterros em filtros ..... 15 000 m<sup>3</sup>/mês
- aterros de materiais de enrocamento dos maciços estabilizadores ..... 90000 m<sup>3</sup>/mês

Estes rendimentos foram estabelecidos tendo em conta as características da obra, devendo ser encarados como valores mínimos, aliados à necessidade de respeitar ritmos de evolução dos aterros que não coloquem em causa a estabilidade da barragem e que sejam compatíveis com as condições meteorológicas ocorrentes. É de salientar que estes valores incluem os tempos necessários à preparação da tarefa a que cada um se refere (por exemplo, colocação de moldes para betonagem ou, no caso de execução de uma camada de aterro, a escavação, transporte, colocação, rega e compactação).

A partir dos valores atrás indicados e face aos volumes totais respectivos, estabeleceu-se o período de execução de cada uma das tarefas para cada órgão.

No presente cronograma ocorrerão múltiplas frentes de escavações ao longo da empreitada que terão de ser devidamente regradas, no sentido de não afetarem a qualidade das obras finais. Por outro lado, parte significativa dos materiais escavados, designadamente nos níveis arenosos da calha do rio e nas formações rochosas interessadas, poderão ou deverão ser objeto de reutilização, havendo pois que assegurar a integridade e a não contaminação dos materiais escavados e prever a realização de stocks.

As escavações de maior altura (10-15 m) a efetuar na área de fundação das obras, interessarão sobretudo o vertedouro e serão realizadas nas formações rochosas de boa qualidade ocorrentes na extremidade da ombreira direita do eixo da barragem. Haverá ainda outras escavações de alguma importância associadas ao desmonte do topo dos afloramentos rochosos que interceptam o eixo da barragem. Em qualquer dos casos, estas escavações obrigarão ao recurso a explosivos, havendo que prever metodologias de pré-corte de modo a não perturbar significativamente o maciço subjacente.

Também na calha do rio e áreas de inundação adjacentes haverá que prever escavações com alguma dimensão que deverão variar entre 7 e 10,5 m de profundidade. Embora os materiais sejam essencialmente arenosos e areno-siltosos e portanto facilmente escaváveis, o nível freático ocorre perto da superfície, havendo que prever alguma atividade de bombagem e/ou ensecagem associada a esta frente de trabalho, eventualmente complementada por intervenções de entivação da escavação.

As escavações em vala para a implantação da galeria de derivação e tomada, a efetuar no substrato rochoso, embora sejam de menor porte, implicarão no entanto cuidados especiais, face à necessidade imperiosa de não afetar o maciço.

Todas as operações de escavação serão coordenadas com as de concretagem ou aterro, de modo a que a superfície posta a descoberto não fique exposta por períodos prolongados, o que proporcionaria condições para amolecimento e alteração dos terrenos, obrigando por sua vez à execução de sobreescavações.

A seqüência das diferentes tarefas foi definida tendo em conta a prioridade relativa de cada uma delas, a sua dependência em relação a outras, e a sua inserção no caminho crítico. Apresenta-se nos pontos seguintes, relativamente a cada órgão ou trabalho fundamental, um comentário acerca da sua inserção no programa de trabalhos e do seu modo de execução.

No estabelecimento do presente cronograma procurou-se não sobrepor atividades da mesma índole, de modo a otimizar meios. De fato, a atividade claramente mais condicionante do programa de trabalhos e de maior dimensão, que está no caminho crítico da empreitada, é a da construção dos aterros da barragem e, em particular, dos aterros na zona da brecha, o que permite a execução de outras atividades, como é o caso das concretagens, de forma distribuída ao longo do tempo, evitando a duplicação de meios em diferentes frentes.

## **9.5 - CANTEIRO, ACESSOS E INSTALAÇÕES GERAIS**

Prevê-se um período de três meses, de Janeiro a Março, para que o empreiteiro se fixe no local da obra, tempo durante o qual deverá proceder à instalação do canteiro, construção de alojamentos para pessoal e execução das infra-estruturas de apoio (distribuição de água potável, água para consumo industrial, rede de esgotos, energia elétrica e sistema de ar comprimido).

A topografia do local é suave, com vegetação abundante mas pouco fechada, não criando dificuldades especiais aos trabalhos de instalação do canteiro. Por outro lado, as acessibilidades atuais são satisfatórias, havendo uma relativa proximidade de diversos aglomerados populacionais, o que facilitará e simplificará o processo de instalação.

O acesso à barragem em fase de obra e como elemento definitivo será feito a partir da principal acessibilidade da zona - estrada alcatroada que liga a Alto Santo e Iracema - até a ombreira esquerda da barragem. Na fase inicial dos trabalhos prevê-se melhorar o acesso precário já existente pela margem esquerda, procurando compatibilizá-lo e aproximá-lo ao traçado de acesso definitivo a implementar no final das obras. Acresce que este acesso poderá também permitir a ligação à principal jazida de solos finos a utilizar para a execução dos aterros da barragem, pelo que constituirá uma via na qual haverá todo o interesse em proceder a uma beneficiação importante.

No local da obra existem acessos de terra mas de relativamente fácil utilização, em ambas as margens, mesmo até junto do rio, o que permitirá iniciar rapidamente as obras de construção da galeria de tomada que em primeira fase funcionará como derivação e que será implantada junto à calha do rio na margem direita.

O vertedouro será implantado na extremidade da ombreira direita que dispõe já de um acesso por estrada de terra a cerca de 250 m de distância e que poderá também ser melhorado sem dificuldade de maior.

## **9.6 - GALERIA DE DERIVAÇÃO E DE TOMADA**

Na construção de uma barragem de aterro o desvio ou o modo de controlo da linha de água podem trazer importantes condicionamentos, sobretudo quando as vazões de cheia são elevadas como é o caso do rio Figueiredo.

Ponderadas as condições topográficas e geotécnicas do vale foi então definida uma seção de brecha para passagem das vazões do rio, abrangendo aproximadamente a área aluvionar de inundação do vale principal. Esta brecha terá de ser fechada em período de estiagem, prevendo-se que nesse período e períodos subsequentes de acabamento dos aterros, as vazões reduzidas do rio se façam através da galeria de derivação e de tomada, entretanto concluída.

A brecha será fechada no período de estiagem do ano 2 da obra, colocando todos os aterros à cota mínima (92), garantindo assim a segurança necessária ao encaixe no reservatório da cheia de canteiro.

A galeria será materializada por uma tubulação de 2.0 m de diâmetro útil, blindada e envolvida em concreto, colocada em vala no substrato consistente, de modo a não criar interfaces laterais que possam induzir percolações preferenciais ao longo dos aterros confinantes.

As escavações para a galeria da derivação provisória poderão começar cerca de seis meses após o início dos trabalhos de instalação geral do empreiteiro. Prevê-se poder concluir a construção da seção corrente da galeria, cerca de 13 meses após o início da obra, no final de Janeiro do ano 2.

As escavações e as concretagens serão efetuadas tanto quanto possível em continuidade, de modo a evitar amolecimento do terreno e a permitir a concretagem direta contra as paredes de escavação em grande parte da seção. Estes trabalhos integrarão a execução dos trechos de entrada e da base da torre, a montante, e a construção da primeira fase da câmara de manobra e da bacia de dissipação, a jusante.

Os trabalhos finais de execução da torre de tomada, da passarela a montante e da câmara de válvulas a jusante só serão executados mais tarde, no final do ano 2, aquando da fase de conclusão da obra e da instalação de equipamentos respetivos.

Durante a construção da galeria, realizar-se-á a maior parte das escavações nas zonas de entrada e saída, de modo a permitir minimizar as operações de desvio do rio aquando do fecho da brecha. Na zona da entrada, a escavação deverá ser conduzida de modo a estabelecer a forma final desta área de modo conjugado com os aterros da pré-ensecadeira de montante - que será realizada imediatamente antes do início dos trabalhos de preenchimento da brecha (início do período de estiagem do ano 2).

Os canais de entrada e de saída da galeria são relativamente pequenos, cerca de 70 e 170 m respectivamente, e interessarão na generalidade terrenos de consistência moderada a fraca que poderão ter alguma reutilização nas pré-ensecadeiras.

## **9.7 - PREPARAÇÃO DAS JAZIDAS E ATERROS EXPERIMENTAIS**

Duas das atividades fundamentais à criação das condições necessárias ao cumprimento do cronograma de trabalhos previsto são a preparação em tempo útil das áreas de jazidas de solos finos e pedreiras e a realização de aterros experimentais.

A adequada sistematização de procedimentos para a decapagem, escavação e preparação dos materiais nas jazidas e respectivo carregamento e transporte para a frente de aterro é requisito fundamental da empreitada que deverá ser cumprido logo no início dos trabalhos, sob pena de se comprometer todo o cronograma.

A definição de procedimentos de desmonte das áreas de afloramento rochoso assumidas como locais de pedreiras para obtenção dos enrocamentos de granulometria extensa é também crucial. É imprescindível, designadamente, assegurar a necessária compatibilização dos procedimentos de escavação na área do vertedouro, de modo a permitir a reutilização do grande volume de enrocamento que aí se prevê obter.

A retirada das areias limpas da calha do rio que se prevê utilizar nas zonas de filtro e de dreno do corpo da barragem é também uma operação delicada, havendo que rentabilizar os períodos de estiagem e que acautelar eventuais colmatações e misturas com outros materiais adjacentes que dificultem a sua reutilização. Deverá ser prevista a necessidade de recurso a ensecagem e bombagem, face à existência de níveis freáticos elevados e ainda de lavagem e processamento das areias, de modo a assegurar o rigoroso cumprimento do fuso especificado para estes materiais.

Do mesmo modo, a validação de rotinas de terraplanagem, e em particular de compactação, terá de ser feita previamente ao início das grandes frentes de execução de aterros. Efetivamente, as metodologias de colocação e compactação dos materiais finos do núcleo, dos filtros e drenos e dos enrocamentos de granulometria extensa são substancialmente diferentes, havendo que regrar e acautelar os procedimentos específicos respetivos.

Os aterros de enrocamento de granulometria extensa constituirão a maior frente de terraplanagem da obra, sendo que a possibilidade de utilizar camadas de espessura elevada e seguindo a tecnologia de colocação em “cordão” e rega abundante até à saturação e

compactação com cilindro vibrador pesado, permite ritmos de construção muito elevados e a rentabilização de período de elevada pluviosidade para avanço franco desta frente de trabalho.

A otimização de procedimentos construtivos destes aterros é pois de todo o interesse e poderá permitir a otimização de meios e de custos.

Haverá ainda toda a vantagem em constituir stocks dos diversos materiais de aterro, de modo a permitir assegurar uma adequada continuidade construtiva.

Pode pois referir-se que estas duas frentes de trabalho, de preparação de áreas de empréstimo e de execução de aterros experimentais - embora não integrem a lista de medições, têm no entanto de ser assumidas como atividades prioritárias da empreitada, no sentido de salvaguardar devidamente as condições de qualidade e de prazo de execução da obra.

A preparação das áreas de empréstimo de solos finos e de areiros e pedreiras iniciar-se-á logo em Fevereiro do ano 1, prevendo-se que vá sendo feita em continuidade até ao final de Setembro deste ano. Os aterros experimentais poderão decorrer, no essencial, durante Abril a Junho do ano 1.

## **9.8 – TRATAMENTO DA FUNDAÇÃO**

O programa de reconhecimento efetuado permitiu confirmar as boas características geomecânicas do maciço rochoso que aflora frequentemente ao longo da área de implantação da obra e/ou que ocorre habitualmente a 1-2 m de profundidade, a menos da calha do rio e da áreas adjacentes de inundação em caso de cheia e ainda de algumas áreas baixas dos vales secundários, onde a espessura dos materiais de cobertura a sanear poderá ser significativa.

Nos ensaios de absorção de água efetuados o maciço revelou na generalidade baixas absorções, a menos de trechos localizados em zonas pontuais. Por outro lado, a fracturação dominante é sub-vertical e alinhada aproximadamente na direção montante-jusante, o que levanta algumas preocupações relativas a situações de passagens de água e à necessidade de tratamento do maciço.

Assim sendo, considerou-se pertinente assumir a necessidade de mobilização de equipamento específico para tratamento profundo da fundação pela injeção de caldas cimentícias em trechos localizados, tendo sido definida a necessidade de tratamento de dois pequenos trechos da fundação – um de 175 m de extensão, coincidente com a calha do rio e outro, na ombreira direita, com 50 m de extensão.

Previu-se também a necessidade de preenchimento e tratamento superficial da fundação do núcleo com concreto projetado e/ou injeções cimentícias curtas, de zonas de fraturas abertas.

A existência de trechos de afloramento rochoso, com dimensão significativa e pendente íngreme que poderiam dificultar os trabalhos de terraplenagem, sobretudo na zona do núcleo, levou a assumir-se a necessidade de efetuar previamente um trabalho de regularização da fundação do núcleo, através da escavação desses afloramentos de modo a se obterem taludes com pendente média não superior a 3:1 (H:V).

Prevê-se que esses trabalhos de reconhecimento complementar e de tratamento superficial e profundo da fundação sejam realizados essencialmente no ano 1 da empreitada, iniciando-se em Abril e concluindo-se em Fevereiro do ano 2, de modo a não comprometer o avanço dos aterros. Na área da calha do rio a realização destes trabalhos decorrerá no período de estiagem – aproximadamente de Agosto a Dezembro.

## **9.9 – CORPO DA BARRAGEM**

A escavação para saneamento da fundação deverá preceder, por curto período de tempo, a execução dos aterros da barragem, para obviar aos problemas de eventual amolecimento do terreno.

Prevê-se iniciar os trabalhos de saneamento da fundação no início de Março do ano 1, sendo que as escavações serão na generalidade de pouca dimensão, a menos dos trechos de baixa aluvionar interessando a área de inundação do rio, com cerca de 200 m de extensão, onde as escavações de saneamento atingirão valores de 6 a 10 m.

Haverá ainda trechos localizados de desmonte do topo e dos taludes dos afloramentos rochosos de pendente íngreme que poderiam induzir a instalação de zonas preferenciais de percolação, criando-se um talude mais suave e fazendo um adequado endentamento para uma boa ligação e imbrincamento dos aterros finos do núcleo.

Prevê-se que as areias limpas que serão saneadas na calha do rio sejam utilizadas nas zonas de filtro da barragem e nos aterros de fecho de jusante das escavações para fundação da barragem, na zona central do vale. Os aterros de fecho de montante destas escavações serão materializados com materiais provenientes das escavações do solo residual do maciço. Os materiais rochosos da escavação a efetuar para uma melhor modelação da superfície de contato com os aterros serão também reutilizados nos maciços estabilizadores de enrocamento de granulometria extensa.

O volume total de escavações é de cerca de  $445 \times 10^3 \text{m}^3$ , não introduzindo constrangimentos sensíveis no programa de trabalhos. Haverá sobretudo que acautelar procedimentos executivos no desmonte de trechos de afloramentos rochosos, de modo a não afetar a fundação da barragem e que prever algum trabalho de bombagem e/ou de ensecagem e entivação, designadamente com estacas-pranchas, para o saneamento das aluviões na baixa aluvionar, que atingirá espessuras significativas com valores máximos da ordem dos 10,5 m, sendo que a execução desta frente de trabalho em período de estiagem permitirá simplificar o problema.

A problemática da gestão dos materiais de aterro a integrar no corpo da barragem foi já objeto de tratamento específico no ponto 9.3, sendo aqui apenas retomados alguns aspetos associados a questões técnicas e à cronologia dos trabalhos.

Os aterros do núcleo iniciar-se-ão em Maio do ano 1, já após se dispor de alguma informação consistente dos aterros experimentais respectivos.

O fato de se dispor de jazidas – designadamente a jazida 2 que é a maior de onde se prevê a exploração da maior parte dos solos finos, com acesso relativamente fácil, embora algo distante - que garantem um volume superabundante de material fino de boas características para o núcleo, com bastante homogeneidade e pequeno expurgo e com espessura média de exploração da ordem dos 2 m, permitirá implementar uma rotina de procedimentos que se prevê não levantar dificuldades de maior.

O volume de material necessário para o núcleo da barragem é de cerca de  $490 \times 10^3 \text{m}^3$ , sendo que se prevê efetuar os aterros respetivos em 19 meses, concluindo-os no final de Janeiro do ano 3 da empreitada, não implicando pois esta frente de trabalho ritmos médios elevados.

Ao enrocamento de granulometria extensa corresponde o maior volume de material de aterro da obra, cerca de  $1\ 100 \times 10^3 \text{m}^3$ . No entanto, o fato de estes aterros permitirem a adoção de espessuras de camadas da ordem de 0.7 a 0.9 m e possibilitarem procedimentos de colocação e compactação de grande eficácia, leva a que esta frente de trabalho seja perfeitamente exequível nos cerca de 22 meses de atividade que lhe corresponde.

Haverá sobretudo que acautelar devidamente a disponibilidade dos volumes de água apreciáveis, necessários à rega abundante destes materiais previamente à sua compactação.

Os aterros de enrocamento iniciar-se-ão em Julho do ano 1 e estarão concluídos em Abril do ano 3 da empreitada.

Os materiais de enrocamento de granulometria extensa e de enrocamento de proteção serão obtidos, quase na totalidade, das escavações para o vertedouro e, numa pequena parte, de áreas adjacentes e da eventual exploração de novos locais de pedreira de que se dispõe no local de obra de diversas áreas potencialmente muito interessantes.

Os materiais granulares necessários para filtro e dreno têm um volume estimado de cerca de  $250 \times 10^3 \text{m}^3$ . As areias para os filtros poderão ser obtidas ao longo da calha do rio e, designadamente, das escavações para a fundação da barragem nessa zona, onde ocorrem consistentemente e com possanças da ordem dos 5-6 m. No caso dos materiais de brita para os drenos, prevê-se que estes serão obtidos sobretudo, através de adequado processamento em pedreira.

Embora de menor volumetria e não se prevendo dificuldades na obtenção destes materiais de filtro e dreno, os seus procedimentos de colocação são muito exigentes pelo que se prevê que esta frente de trabalho, até por razões de continuidade do perfil da barragem, acompanhará as restantes frentes de colocação de aterros mais volumosos.

Face à existência de diversos vales secundários previu-se a implementação de um conjunto de áreas de coleta e drenagem dos caudais percolados que serão prolongados por valas de drenagem escavadas no terreno natural para entrega nas linhas de água secundárias a jusante.

Os materiais de enrocamento de proteção serão selecionados dos restantes enrocamentos e carecem sobretudo de procedimentos de colocação, arrumação e imbrincamento específicos.

Os trabalhos de execução do corpo da barragem terão uma fase mais sensível, correspondente ao fecho da brecha, a efetuar no período seco do ano 2, já com os restantes aterros em fase avançada. Efetivamente, essencialmente no período de Setembro a Dezembro, terão de ser colocados os aterros de solos finos, de enrocamento de granulometria extensa e de filtros e drenos necessários à completagem da obra no seu trecho central e até à cota do topo da brecha, à (92,00), correspondendo a um volume total de cerca de  $510 \times 10^3 \text{m}^3$ .

O período de tempo disponível é compatível com o volume total de materiais de aterro a colocar, havendo sobretudo que acautelar os procedimentos específicos de ligação aos aterros já colocados, em particular na zona do núcleo e dos filtros, o que poderá tornar um pouco mais morosa esta frente de trabalho. Na faixa de interface dos aterros do núcleo de idade diferente prevê-se a utilização de materiais mais finos e plásticos colocados do lado úmido.

Haverá ainda que assegurar que a subida final dos aterros até à cota do coroamento se faz, no essencial, antes do período pluvioso seguinte (do ano 3), o que parece perfeitamente plausível face aos volumes em presença e à rotina entretanto obtida na colocação dos aterros respetivos.

### **9.10 - VERTEDOURO**

O vertedouro previsto para a barragem de Figueiredo é uma estrutura de grande desenvolvimento, face às elevadas vazões de dimensionamento, e que implica a execução de um grande volume de escavações no maciço rochoso, com alturas que atingirão 10-15 m.

O vertedouro ficará localizado na extremidade da ombreira direita da obra e será uma estrutura em canal convergente dotada de crista descarregadora à entrada com 250 m de desenvolvimento e tendo à saída uma bacia de dissipação, obtida por escavação profunda na rocha.

Face à reconhecida boa qualidade do maciço rochoso interessado pelas escavações, prevê-se que seja necessário concretar apenas o trecho da crista descarregadora, áreas adjacentes de entrada e saída e muros laterais,

O canal de restituição a jusante interessará já níveis aluvionares de menor consistência, sendo que nesse trecho as escavações serão de porte moderado.

Na programação dos trabalhos assumiu-se o início da construção do vertedouro em Maio do ano 1 e o seu término em Dezembro do ano 2 , correspondendo pois esta frente de trabalho a 20 meses de atividade que permitem a sua execução sem constrangimentos ou mobilização e concentração exagerada de meios.

Prevê-se que as escavações decorram em ritmo elevado na fase inicial e mais superficial dos trabalhos, sendo que os níveis finais da escavação face à necessidade de assegurar geometrias regulares de escavação correspondentes à seção de hidráulica útil – que não interessará uma altura superior a cerca de 2 m - decorrerão de modo mais lento. Dispor-se-á assim, nas fases iniciais da obra, de volumes importantes de materiais de enrocamento passíveis de reutilização nos aterros da barragem.

Os trabalhos da concretagem serão essencialmente de concreto em massa pelo que poderão ser efetuados com ritmos relativamente elevados, tendo-se previsto 6 meses para a sua execução. Nesta frente de trabalho haverá sobretudo que acautelar em pormenor a execução

da cofragem de definição da geometria exterior da crista descarregadora de modo a assegurar uma adequada concretagem.

### **9.11 – TRABALHOS DE FINALIZAÇÃO DA BARRAGEM**

Nos trabalhos de finalização da barragem incluem-se uma diversidade de tarefas que integram, designadamente, a realização das valas de drenagem escavadas no terreno natural, de restituição dos caudais percolados pela barragem e fundação, a execução dos acabamentos do coroamento, a instalação eléctrica, a realização de ensaios de recepção dos equipamentos hidromecânicos, a fase final de instalação do equipamento de observação, a protecção do paramento, a reflorestação e as medidas de integração paisagística.

Os trabalhos de arranjo do coroamento da barragem incluirão a colocação de guardas e/ou guiamentos e protecções, a preparação da fundação do pavimento e a colocação da camada de revestimento superficial. Estes trabalhos terão início logo que estejam concluídos os aterros, prevendo-se um período final de 4 meses para a sua realização.

A rede de energia, extensível ao coroamento, à torre de tomada e à câmara de válvulas, apenas deverá ser instalada, para que não haja atrasos no seu programa de execução, quando os trabalhos no coroamento estiverem concluídos ou na sua fase final. Previu-se a sua realização em 3 meses.

Para os ensaios de recepção dos equipamentos hidromecânicos assumiu-se, conservativamente, um período de três meses.

O equipamento de observação que começará a ser colocado acompanhando a subida dos aterros, incluirá, designadamente, marcas superficiais, inclinómetros, baterias de assentamento e piezómetros hidráulicos e, ainda, medidores de vazão. Parte significativa deste equipamento será no entanto colocada no final da obra, havendo que assegurar a necessária disponibilidade de meios para a sua instalação.

Prevê-se o fecho das comportas de modo a permitir o início do enchimento do reservatório no final de Julho do terceiro ano de atividade.

### **9.12 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em síntese, pode dizer-se que o cronograma de trabalhos acabado de apresentar foi estabelecido segundo as seguintes regras:

- definição dos períodos críticos da obra;
- obrigatoriedade de, nas datas críticas, estarem realizados determinados trabalhos;
- definição de ritmos de realização de aterros compatíveis com as características particulares do material a utilizar e das condicionantes da obra;
- evitar a dispersão do empreiteiro por número elevado de tarefas diferentes em curso, simultaneamente;
- não comprometer o empreiteiro, à partida, com prazos muito rígidos;
- estabelecer condições que permitam controlar a evolução do enchimento do reservatório.

Assim, considera-se que o empreiteiro, face aos meios de que disponha, possa orientar os trabalhos de modo a conseguir, sem dificuldades, a conclusão da obra na data prevista no programa apresentado, 36 meses após o início da obra, devendo ainda ser garantido o necessário controlo e acompanhamento da subida da água no reservatório na sua fase de enchimento, com a correspondente monitorização da barragem.