



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 V - RELATÓRIO SÍNTESE

JUNHO 2003



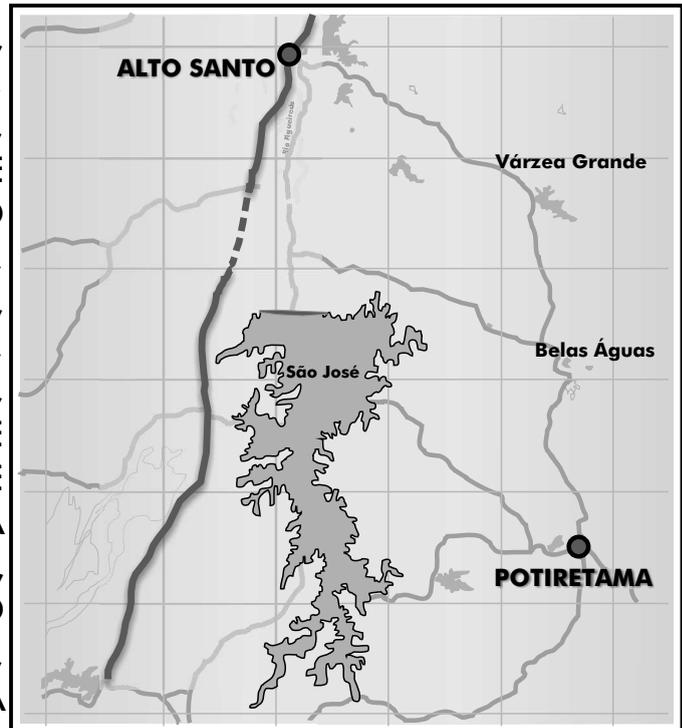


SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

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 V - RELATÓRIO SÍNTESE

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 V – RELATÓRIO SÍNTESE**

#### **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 V – Relatório Síntese.

# BARRAGEM DE FIGUEIREDO

## FASE V – DETALHAMENTO DO PROJETO BÁSICO

### VOLUME V – RELATÓRIO SÍNTESE

#### ÍNDICE

	Pág.
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1.1</b>
1.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	1.1
1.2 – ORGANIZAÇÃO DOS ESTUDOS.....	1.3
1.3 – LISTA DE VOLUMES DO PROJECTO .....	1.3
1.4 – LISTA DE DESENHOS .....	1.3
<b>2 – DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO.....</b>	<b>2.1</b>
2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	2.1
2.2 – BARRAGEM .....	2.7
2.2.1 – Implantação Geral da Obra .....	2.7
2.2.2 – Perfil Tipo .....	2.7
2.2.3 – Largura do coroamento e Folga .....	2.10
2.2.4 – Sobreelevação.....	2.12
2.2.5 – Sistema de Drenagem.....	2.12
2.2.6 – Saneamento .....	2.14
2.2.7 – Caracterização Geotécnica dos Materiais de Construção .....	2.16
2.2.8 – Gestão dos Materiais de Construção .....	2.22
2.2.9 – Validação da Segurança e Análise do Comportamento.....	2.24
2.3 – VERTEDOURO .....	2.41
2.4 – TOMADA DE ÁGUA .....	2.45

# **BARRAGEM DE FIGUEIREDO**

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

### **VOLUME V - RELATÓRIO SÍNTESE**

#### **1 - INTRODUÇÃO**

##### **1.1 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

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.

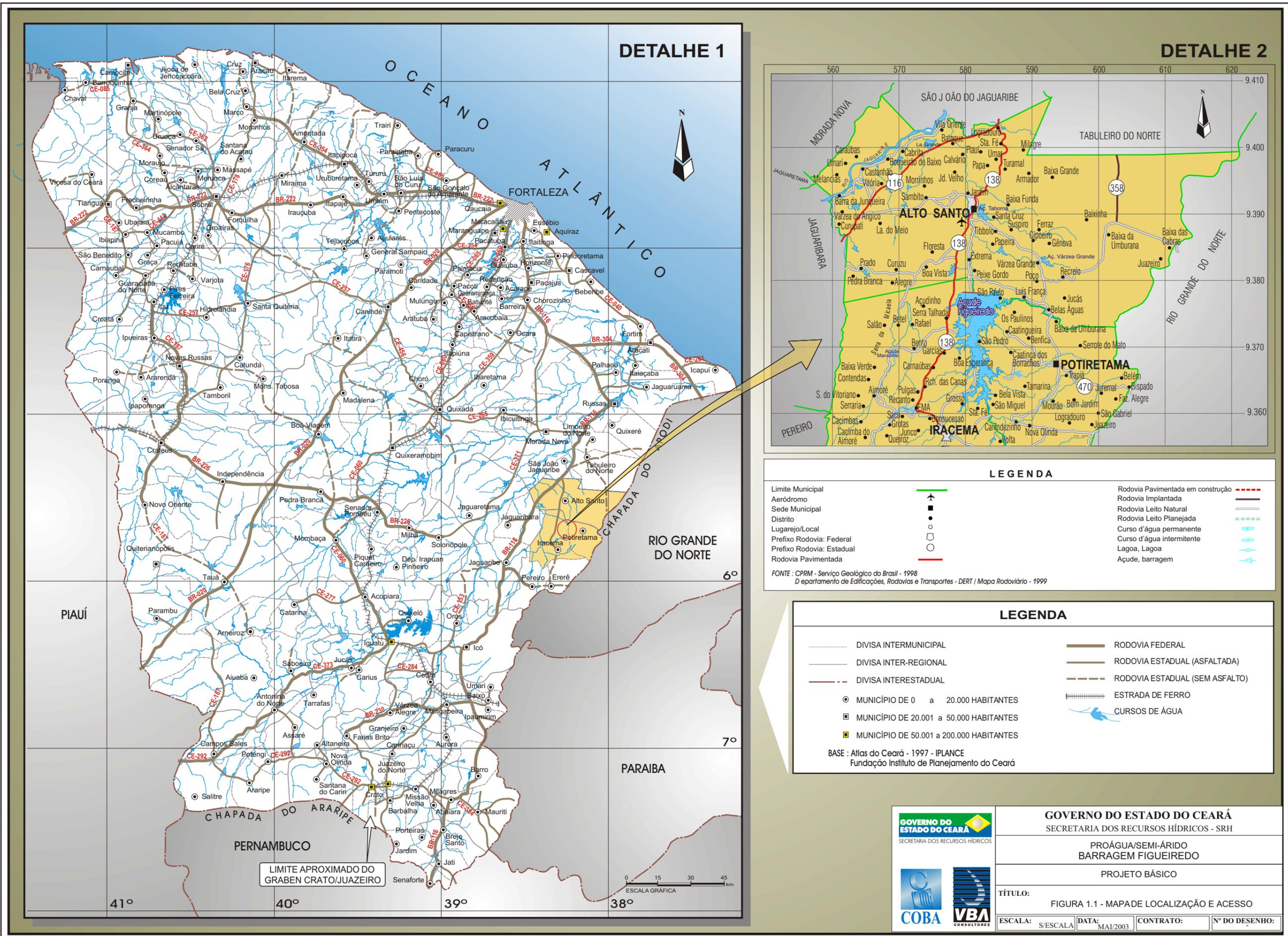
Na Fig. 1.1 apresenta-se o mapa de localização e acesso.

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.



## 1.2 – ORGANIZAÇÃO DOS ESTUDOS

O Projeto da Barragem de Figueiredo dispôs de nove fases intercalares (Fig. 1.2), distribuídas pela Etapa A (fases I a IV) e Etapa B (fases V a IX).

### ETAPA A

- 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.

### ETAPA B

- i) Fase V – Detalhamento do Projeto Básico;
- ii) Fase VI – Plano de Reassentamento;
- iii) Fase VII – Estudos de Impacte Ambiental;
- iv) Fase VIII – Planos de Observação e Manutenção
- v) Fase IX – Avaliação Econômica e Financeira. Final do Projeto

## 1.3 – LISTA DE VOLUMES DO PROJECTO

Apresenta-se em seguida a lista de documentos que compõem a Fase V dos estudos “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

## 1.4 – LISTA DE DESENHOS

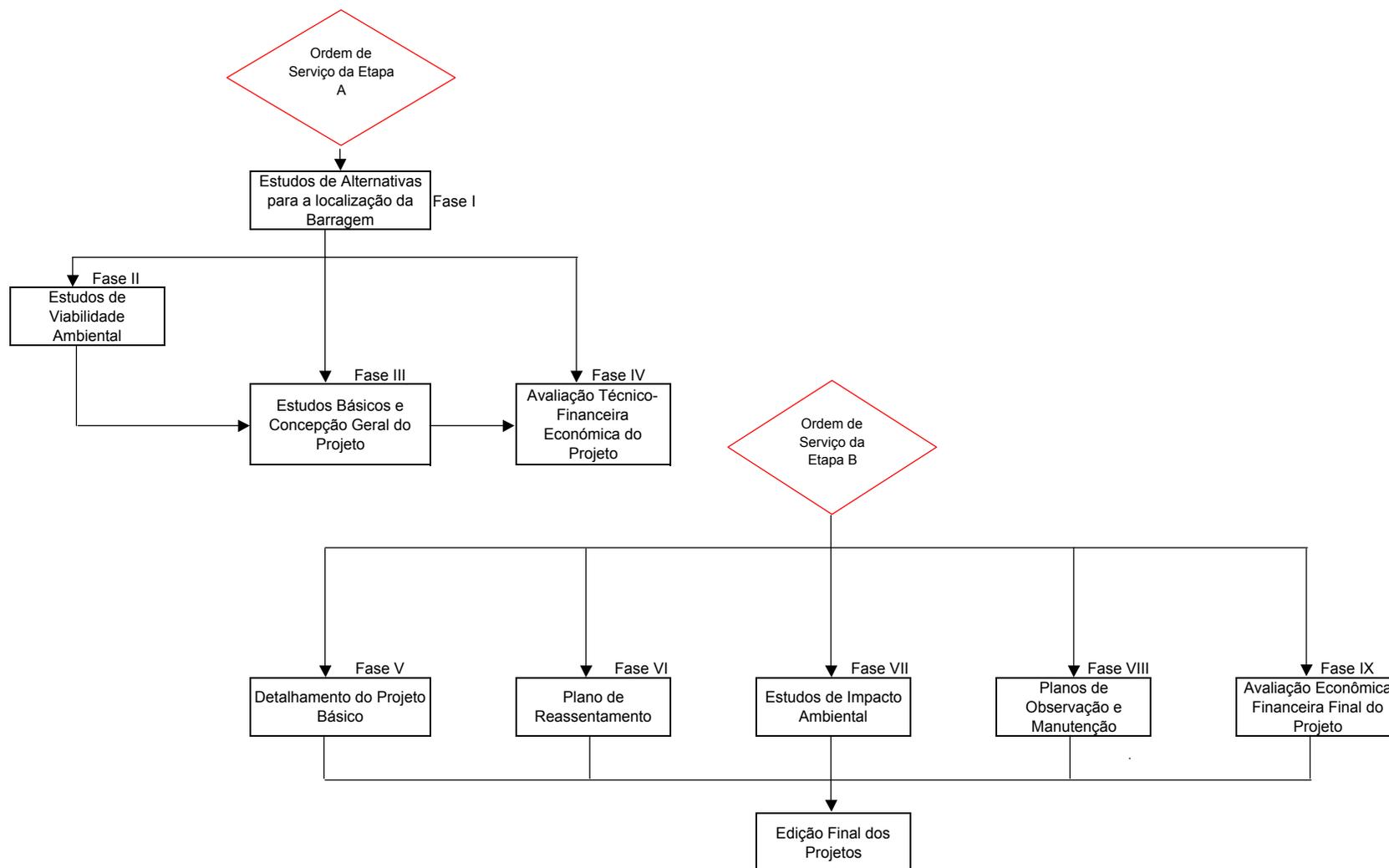
Apresenta-se em seguida a lista de desenhos que integra o Volume II – Peças Desenhadas.

DES. 1 - Localização e Caracterização Geral da Obra

DES. 2 - Reservatório

DES. 3 - Planta Geológica e Localização dos Trabalhos de Prospeção

Fig. 1.2 - FLUXOGRAMA GERAL DOS ESTUDOS



- DES. 4 - Perfil Geotécnico e Tratamento da Fundação
- DES. 5 - Perfis Geotécnicos na Zona da Calha do Rio
- DES 6 - Vertedouro - Planta Geológica e Perfil Geotécnico
- DES 7 - Soleira do Vertedouro - Seções Longitudinais Geotécnicas
- DES 8 - Soleira do Vertedouro - Seções Transversais Geotécnicas
- DES 9 - Tomada D'Água - Planta Geológica e Perfil Geotécnico
- DES. 10 - Materiais de Construção
- DES. 11 - Eixos de Implantação
- DES. 12 - Planta Geral e Perfil Longitudinal
- DES. 13 - Perfil Tipo e Pormenores
- DES. 14 - Perfil Longitudinal e Perfis Transversais – f 1/3
- DES. 14 - Perfil Longitudinal e Perfis Transversais – f 2/3
- DES. 14 - Perfil Longitudinal e Perfis Transversais – f 3/3
- DES. 15 - Vertedouro – Definição Geral
- DES. 16 - Vertedouro - Seções Transversais Típicas
- DES. 17 - Soleira do Vertedouro - Planta e Detalhes do Muro
- DES. 18 - Soleira do Vertedouro - Planta e Detalhes da Concretagem e das Juntas de Contração
- DES. 19 - Tomada D'Água - Arranjo Geral, Planta e Perfil
- DES. 20 - Tomada D'Água - Plantas, Cortes e Seções
- DES. 21 - Tomada D'Água - Detalhes da Obra de Montante
- DES. 22 - Tomada D'Água - Detalhes das Obras de Jusante e da Passarela de Acesso à Torre
- DES. 23 - Monitorização - Planta Geral e Pormenores
- DES. 24 - Monitorização - Perfis Transversais
- DES. 25 - Modo de Avanço dos Trabalhos
- DES. 26 - Cronograma Dos Trabalhos

## 2 – DESCRIÇÃO GERAL DO PROJECTO

### 2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

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.

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

A bacia do Açude Figueiredo (Fig. 2.1) 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.

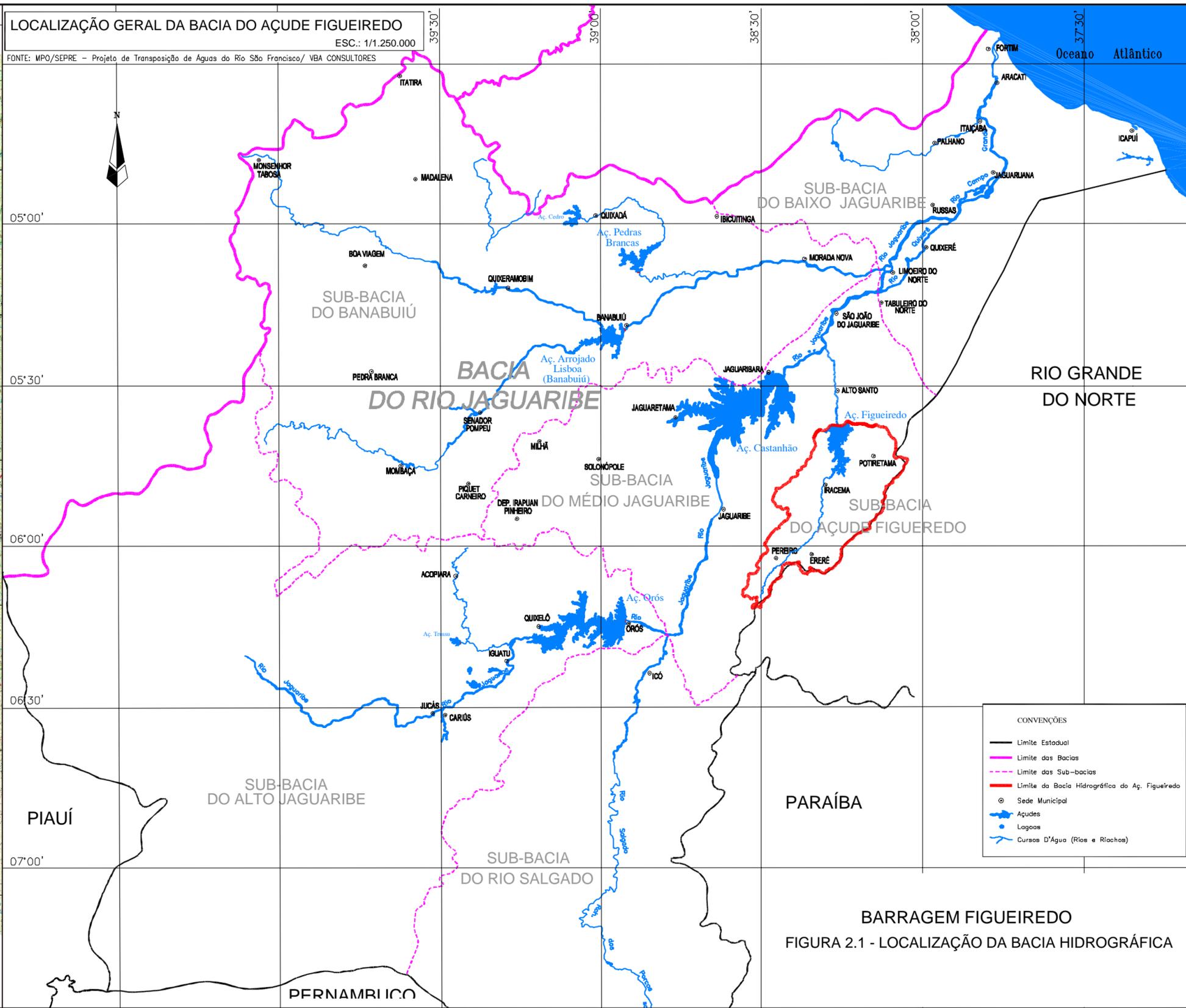
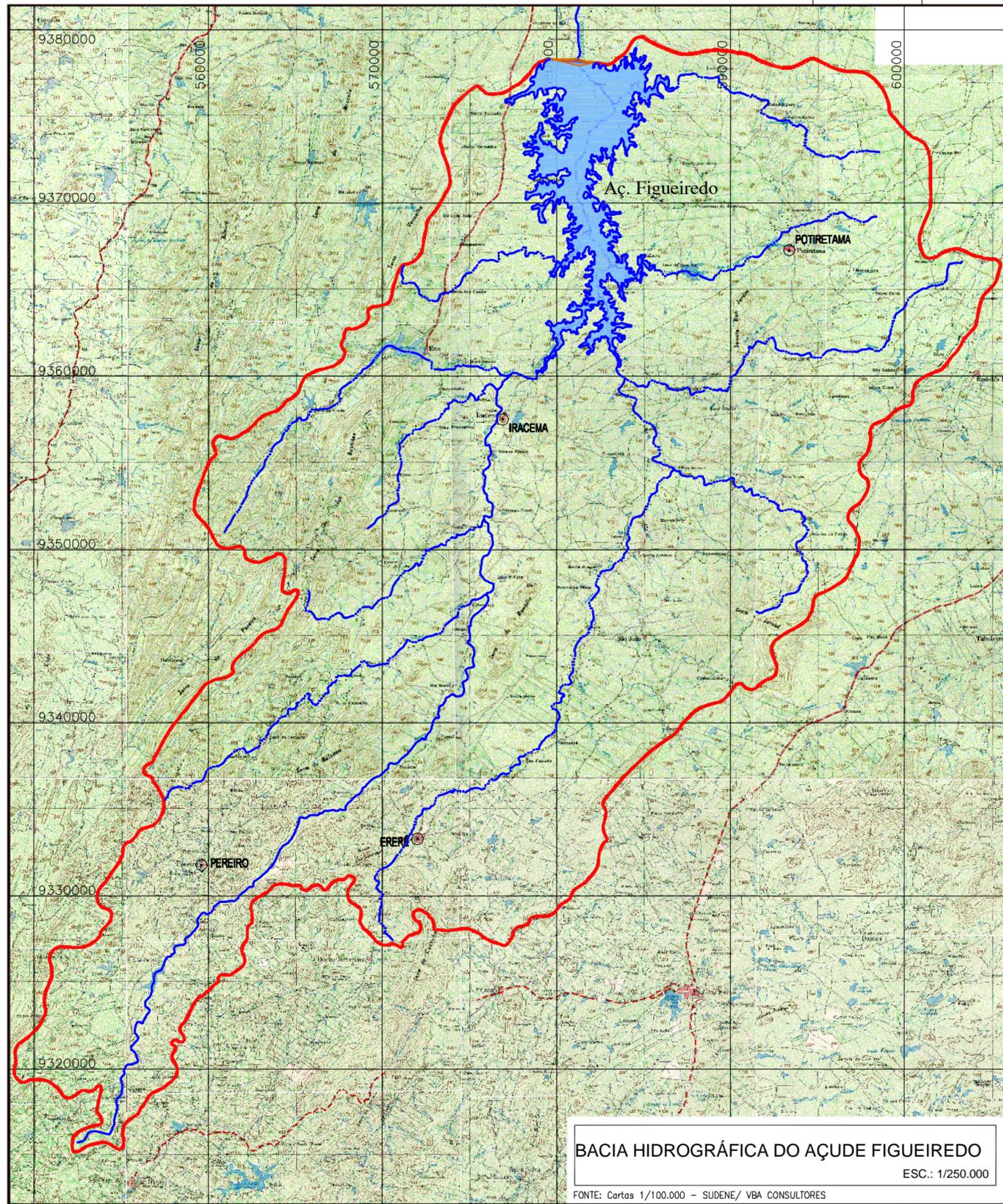
Na seção da barragem, a precipitação e o escoamento médios anuais são de 877 mm e 229 hm<sup>3</sup>, respetivamente. As vazões máximas de cheia para períodos de retorno de 100 e 1000 anos são, respectivamente, de 3465 e 5168 m<sup>3</sup>/s.

A construção da Barragem de Figueiredo – barragem de enrocamento com núcleo argiloso e 43,5 m de altura máxima - 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.

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 eixo da barragem intercepta, de forma mais ou menos perpendicular, esses alinhamentos geomorfológicos, não havendo a registrar aspectos singulares.

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 exceção 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.

Resume-se no [Quadro 2.1](#) a identificação e caracterização das obras, cujo “layout” se representa na [Fig. 2.2](#).

## QUADRO 2.1 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA BARRAGEM 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):	99,0m
Nível máximo para a cheia de TR=1.000 anos:	101,26m
Nível máximo para a cheia de TR=10.000 anos:	101,82m

### IV – BARRAGEM

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

### V – TOMADA DE ÁGUA

Tipo:	Em galeria circular sob carga com duplo controle: torre de controle, localizada na margem direita (estaca BA42+10)
-------	--

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

## VI – VERTEDOURO

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

## VII – PRINCIPAIS QUANTIDADES DE TRABALHO

### 1 – Barragem

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

### 2 – Tomada de água

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

### 3 – Vertedouro

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



## **2.2 – BARRAGEM**

### **2.2.1 – Implantação Geral da Obra**

A localização da barragem 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.

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, com cerca de 135 m de extensão, que, no entanto, será utilizada para implantação do vertedouro.

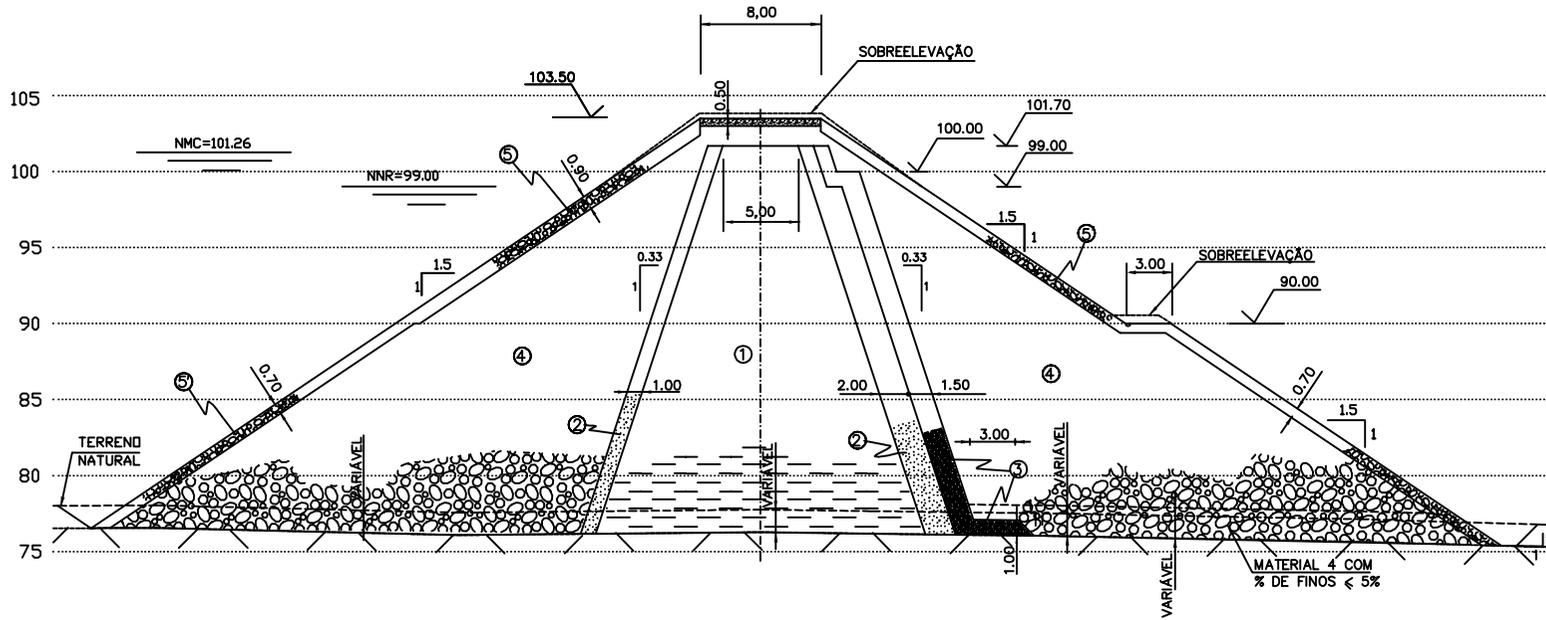
O alinhamento definido pela superfície de referência tem o seu início e final nos pontos de coordenadas N=9378148,11; E=579003,15 (ombreira esquerda) e N=9378138,24; E=582234,16 (ombreira direita).

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 33,5 m e, acima da sua fundação, de 43,5 m.

### **2.2.2 – Perfil Tipo**

O perfil tipo da barragem 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 (Fig. 2.3).



Esc. 1/500

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

BARRAGEM DO FIGUEIREDO  
FIG. 2.3 - PERFIL TIPO

O coroamento do núcleo, que se localiza cerca de 0,5 m acima da cota do nível de máxima cheia - (101,7) -, terá uma largura de 5 m, 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 1,5 m de largura (na horizontal), à excepção dos seus trechos superiores, acima do NNR, em que terão apenas 1 m de espessura, por forma a 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 fenómenos de erosão interna. O dreno prolongar-se-á 3 m 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 fenómenos 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 3 m 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 0,90 m acima da cota (90,0) e 0,70 m 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  $D_{máx}$  entre 600 e 800 mm e um  $D_{50}$  entre 350 e 500 mm e, nas cotas inferiores, um  $D_{máx}$  entre 500 e 600 mm e um  $D_{50}$  entre 250 e 350 mm.

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 0,7 m.

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.

### **2.2.3 – Largura do coroamento e Folga**

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

A largura do coroamento foi definida tendo em conta expressões empíricas indicadas na bibliografia da especialidade.

A folga normal e mínima foram definidas de acordo com os critérios propostos pelo USBR (1981) e tendo em conta as seguintes combinações de acções:

i) **Combinação 1** -

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

ii) **Combinação 2** -

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

iii) **Combinação 3** -

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

A possibilidade de escorregamento dos taludes do reservatório em resultado de fenômenos sísmicos e a conseqüente 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.

Para o vento excepcional considerou-se uma velocidade máxima sobre a albufeira de 160 km/h e, para o vento habitual, uma velocidade máxima de 70 km/h, valores esses conservativos.

No [Quadro 2.2](#) representam-se os valores calculados pelas combinações de ações descritas e as cotas de coroamento mínimas resultantes.

**Quadro 2.2 - 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.

## 2.2.4 - Sobreelevação

A ocorrência de assentamentos a longo prazo, essencialmente do corpo da barragem, serão compensados por uma sobrelevação do aterro (contraflecha). 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.

Definiu-se um valor máximo da contraflecha igual 0,4 m (assentamento máximo expectável para a fase de exploração da obra) na zona em que a barragem atinge maior altura, numa extensão de 180 m. 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 2.3](#) indicam-se os valores adotados na totalidade do desenvolvimento do coroamento.

**Quadro 2.3 – Sobreelevação 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

## 2.2.5 – Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem interno da barragem é constituído pelo filtro e pelo 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 2.4** 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 2.4 – 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 banquetta. Para o efeito conferiu-se à banquetta 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 1,0 m de largura na base interior e talude de jusante inclinado a 1:1.

As águas recolhidas nas caleiras da banquetta 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.

### **2.2.6 – 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 1,5 m ou, na calha do rio, material aluvionar até cerca de 10 m 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 3 m 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 contato 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 a escavação corrente entre afloramentos.

Na restante área de fundação da barragem, considerou-se que uma escavação entre 0,5 e 1,5 m será em geral suficiente para se encontrar condições adequadas de fundação para os maciços estabilizadores, 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 7 m, 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 e ao longo do eixo por via da implementação e 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 10 m.

No [Quadro 2.5](#) 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 2.5 – 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	-

## 2.2.7 – Caracterização Geotécnica dos Materiais de Construção

### 2.2.7.1 – 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.

Na [Fig. 2.4](#) representam-se os fusos granulométricos dos materiais que integram a barragem.

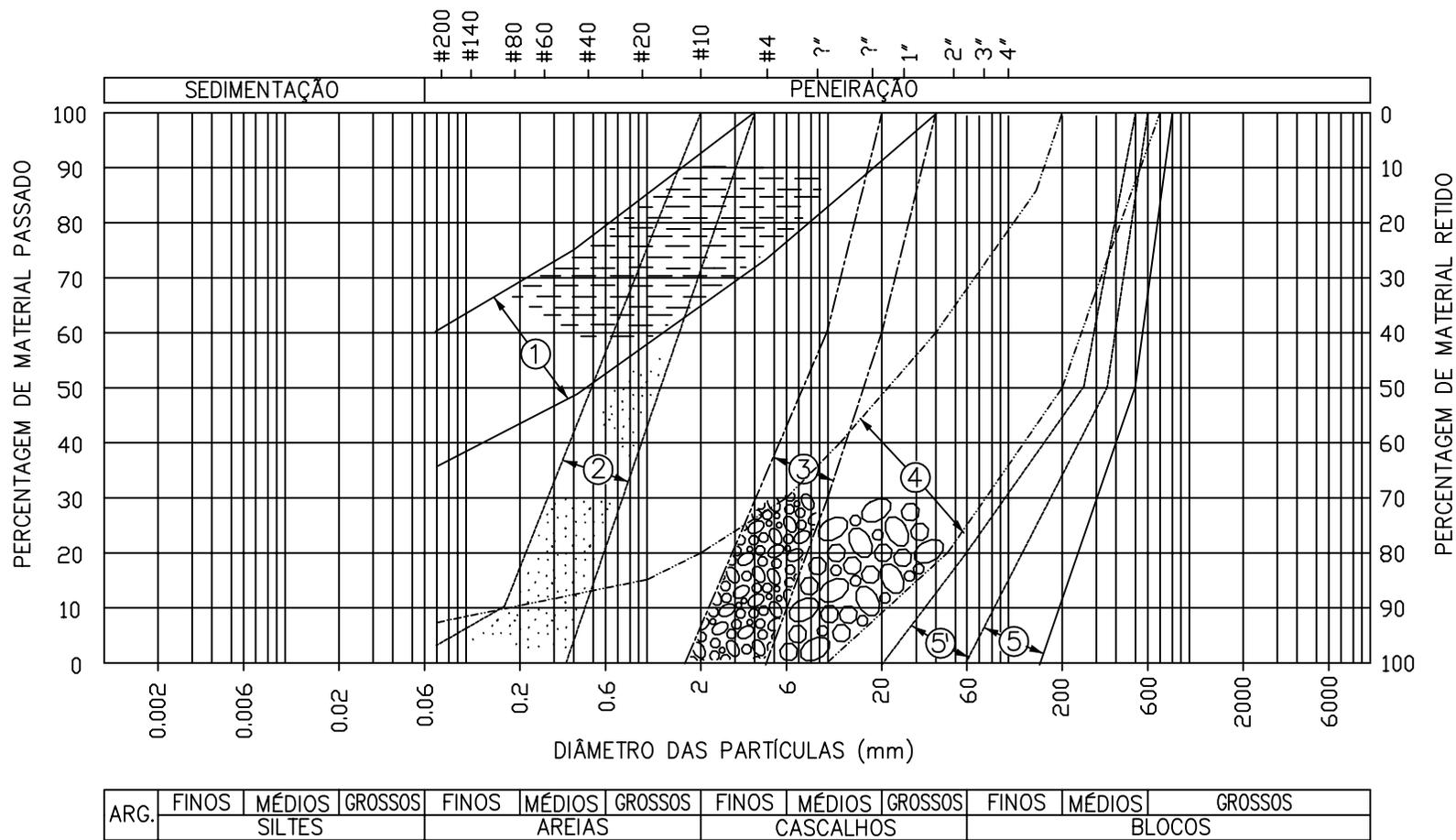


FIG. 2.4 - FUSOS GRANULOMÉTRICOS DOS MATERIAIS DA BARRAGEM DO FIGUEIREDO

### 2.2.7.2 – 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%.

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. Consta-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%.

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%.

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).

Tendo em conta os resultados dos ensaios triaxiais, admitiu-se para o ângulo de atrito efetivo um valor igual a 28° e para a coesão efetiva um valor igual a 10 kPa. Em termos de deformabilidade adotaram-se conservativamente os seguintes parâmetros, definidos 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 foi determinada 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).

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.

### 2.2.7.3 – 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:

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

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.

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 da especialidade. Em síntese:

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

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

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

#### **2.2.7.4 – Materiais de 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 um coeficiente de permeabilidade de  $10^{-2}$  m/s, conservativo função da granulometria definida.

Assumiu-se para estes materiais os seguintes parâmetros:

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

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

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

#### **2.2.7.5 – 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.

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 da especialidade.

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.

$\phi=38^{\circ}-48^{\circ}$ (com valores prováveis entre 42 e 45°)	$c'=0$
$E=60$ MPa	$\nu=0.30$
$K_h=1 \times 10^{-5}$ m/s	$k_v=1 \times 10^{-5}$ m/s
(K <sub>h</sub> =K <sub>v</sub> =5 x 10 <sup>-5</sup> m/s para a % de finos < 5% - níveis inferiores do maciço de jusante)	

Sublinha-se, dadas as características granulométricas dos materiais em causa, que 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.

#### **2.2.7.6 – 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×Hs) 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.

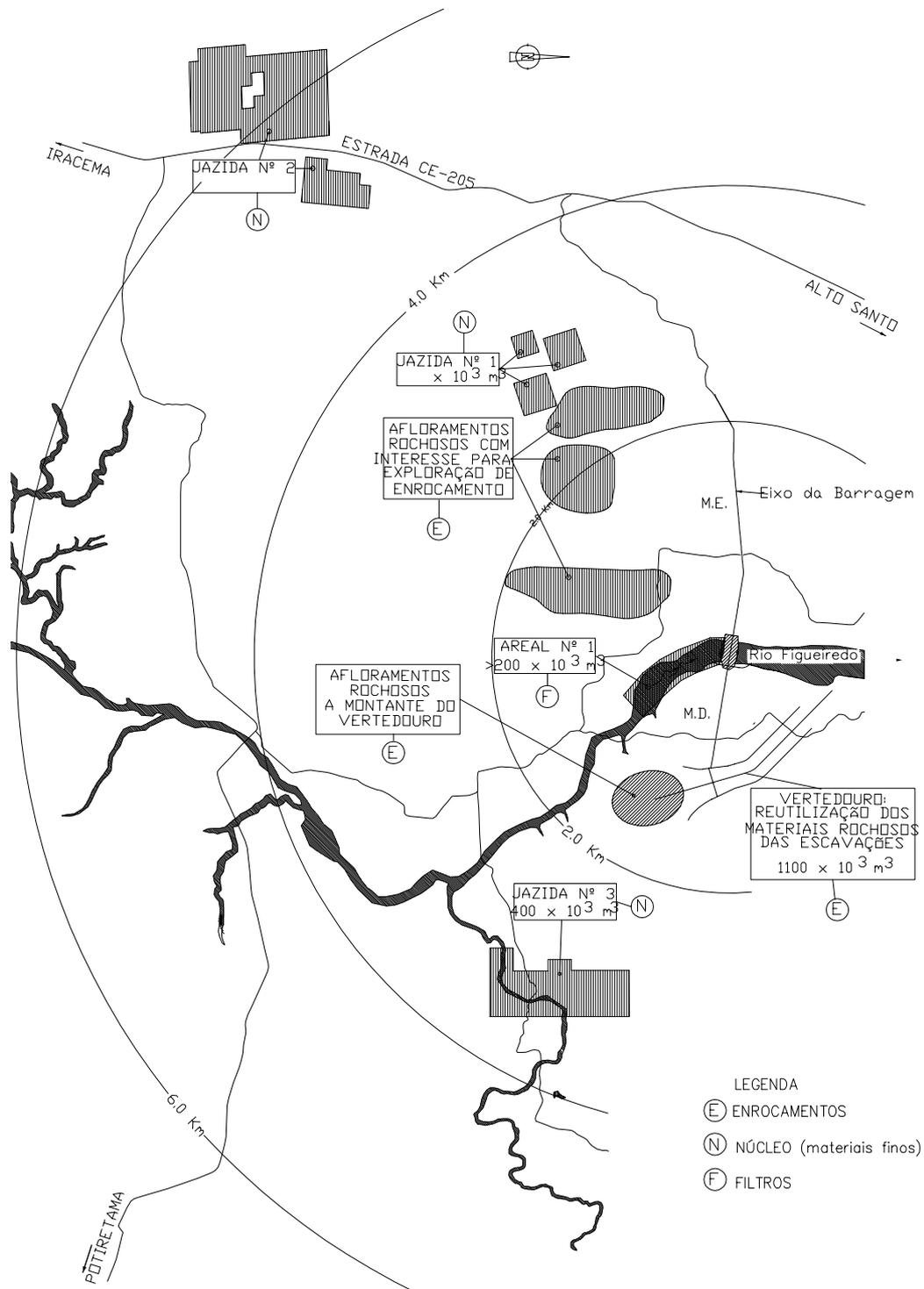
## 2.2.8 – Gestão dos Materiais de Construção

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. 2.5](#) e no [Quadro 2.6](#) - 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 inferior 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  $1,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ .



BARRAGEM DO FIGUEIREDO  
FIG. 2.5 – EXPLORAÇÃO DE MATERIAIS

**Quadro 2.6 - Exploração de Materiais. Disponibilidades**

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 da 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.

## 2.2.9 – Validação da Segurança e Análise do Comportamento

### 2.2.9.1 – Análise Estática

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

Foi objeto de análise um dos perfis de maior altura da barragem, para 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.

No **Quadro 2.7** apresentam-se as características mecânicas dos aterros e terreno de fundação adotadas.

**Quadro 2.7 – 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

Dos cálculos efetuados selecionaram-se algumas superfícies de deslizamento que traduzem a estabilidade global do corpo da barragem e que se apresentam nas **Figuras 2.6 a 2.9**, para as várias fases da obra. No **Quadro 2.8** apresentam-se os fatores de segurança mais condicionantes.

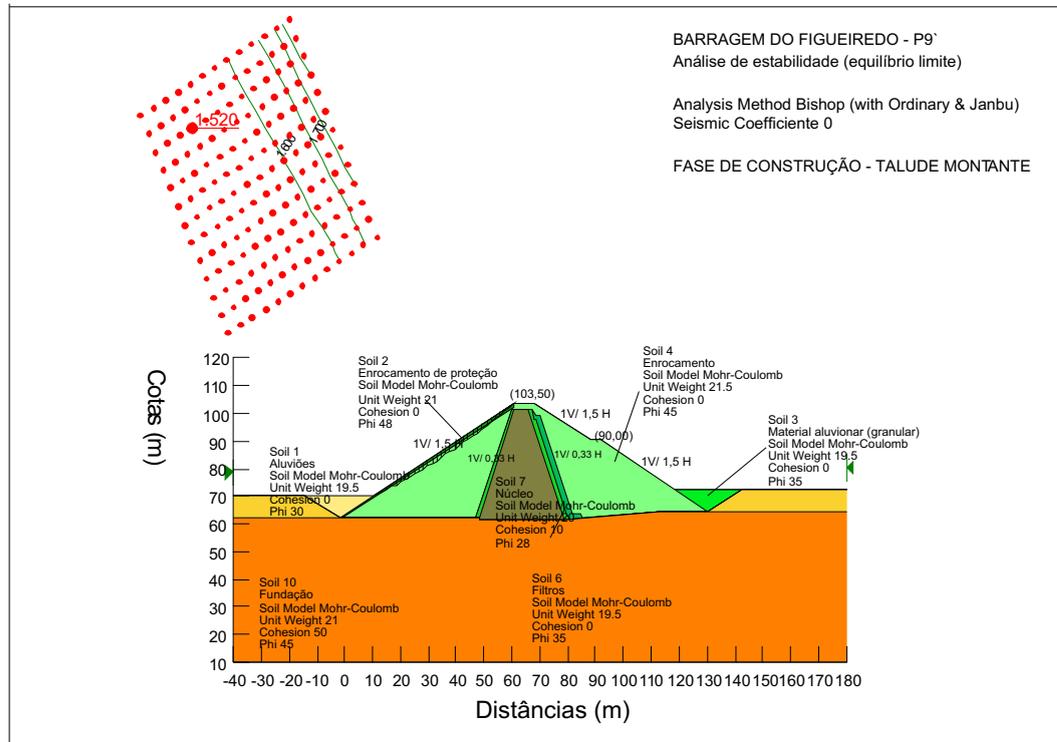
**Quadro 2.8 – Análise de estabilidade estática. Fatores de segurança**

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

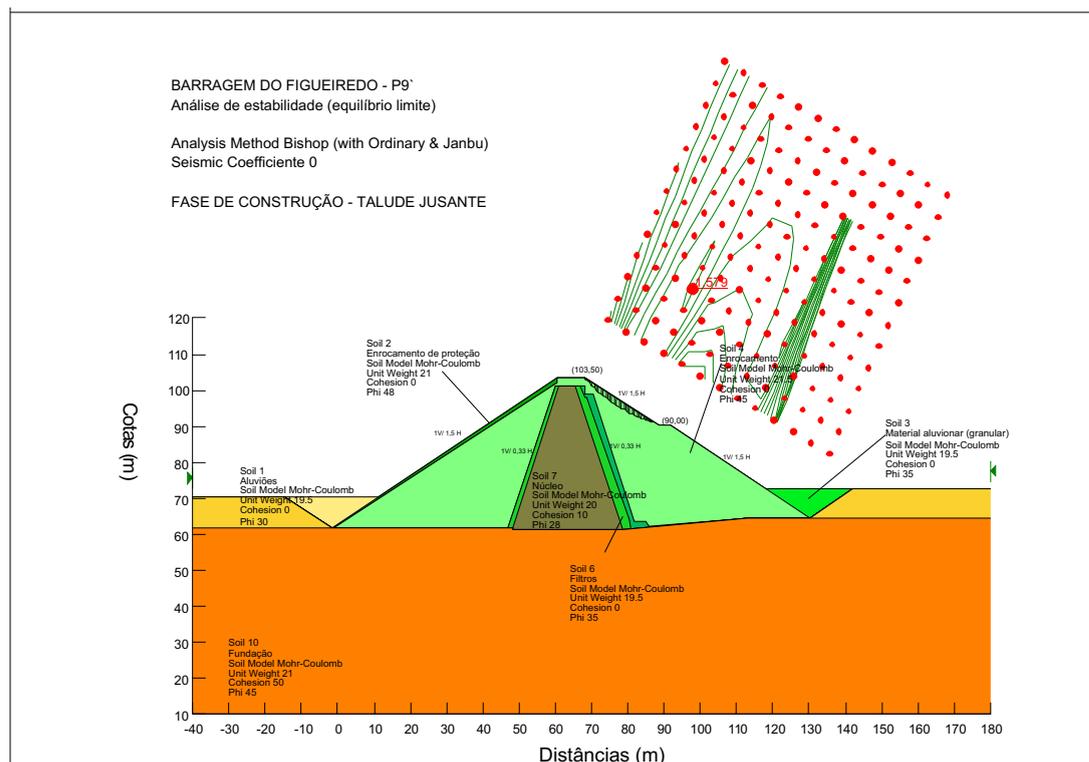
Para todas as situações de cálculo os valores dos fatores de segurança mínimos obtidos são superiores aos habitualmente exigidos, nomeadamente, 1.4 para a fase de construção, 1.5 para o regime permanente e 1.3 para o rebaixamento rápido, ficando assim verificada a estabilidade estática da obra.

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 sua importância e dimensão e o reconhecido interesse técnico e econômico na

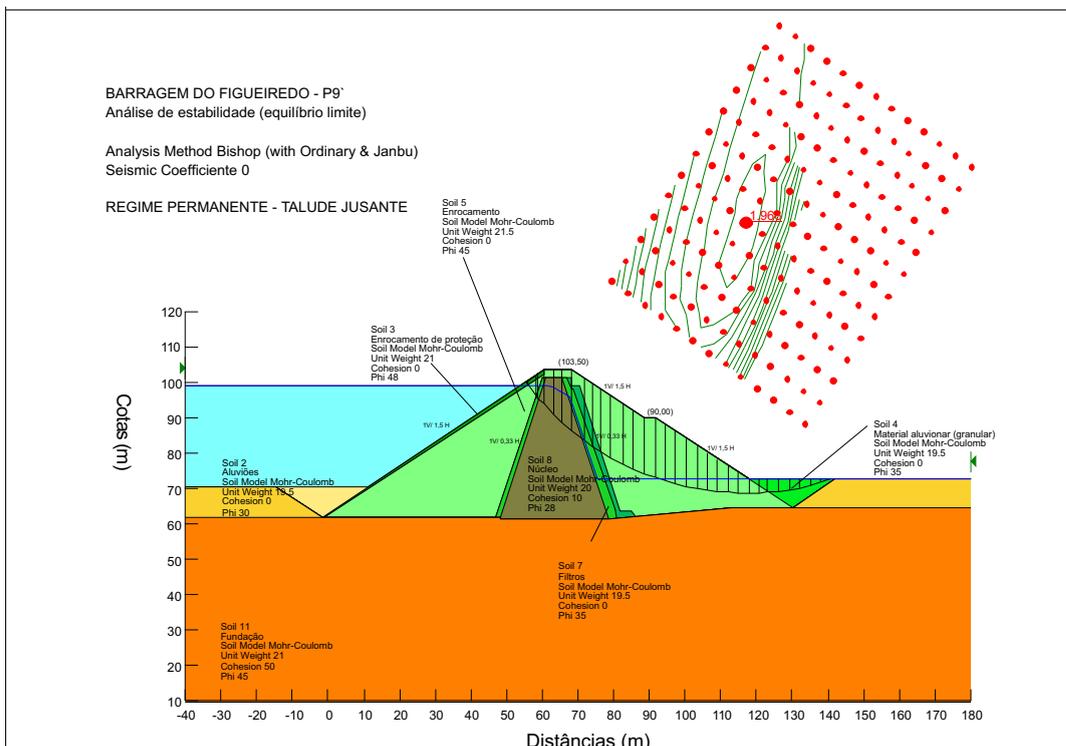
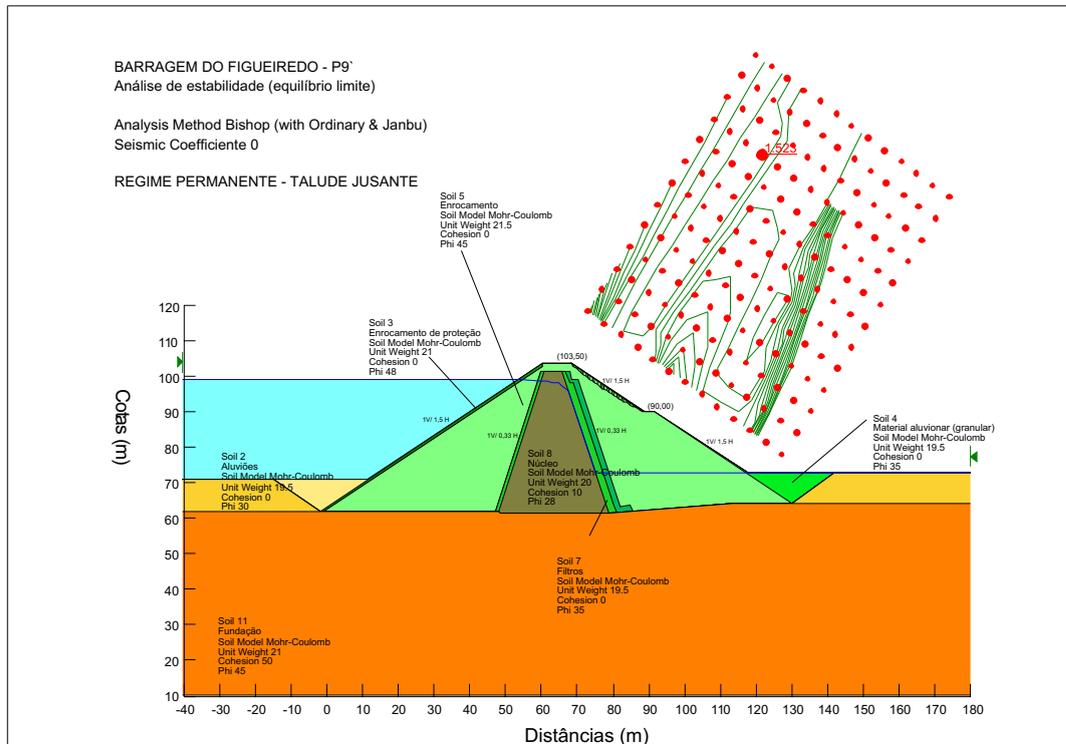
**Fig. 2.6 - Análise de estabilidade estática. Fase de construção - Talude de montante**



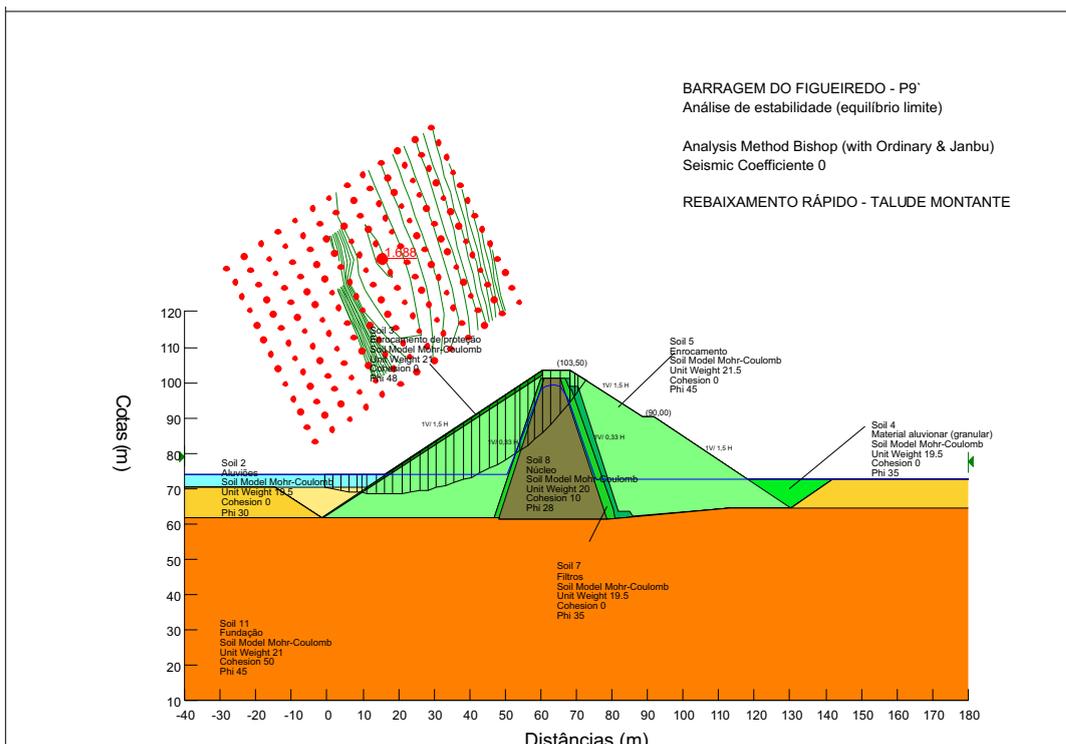
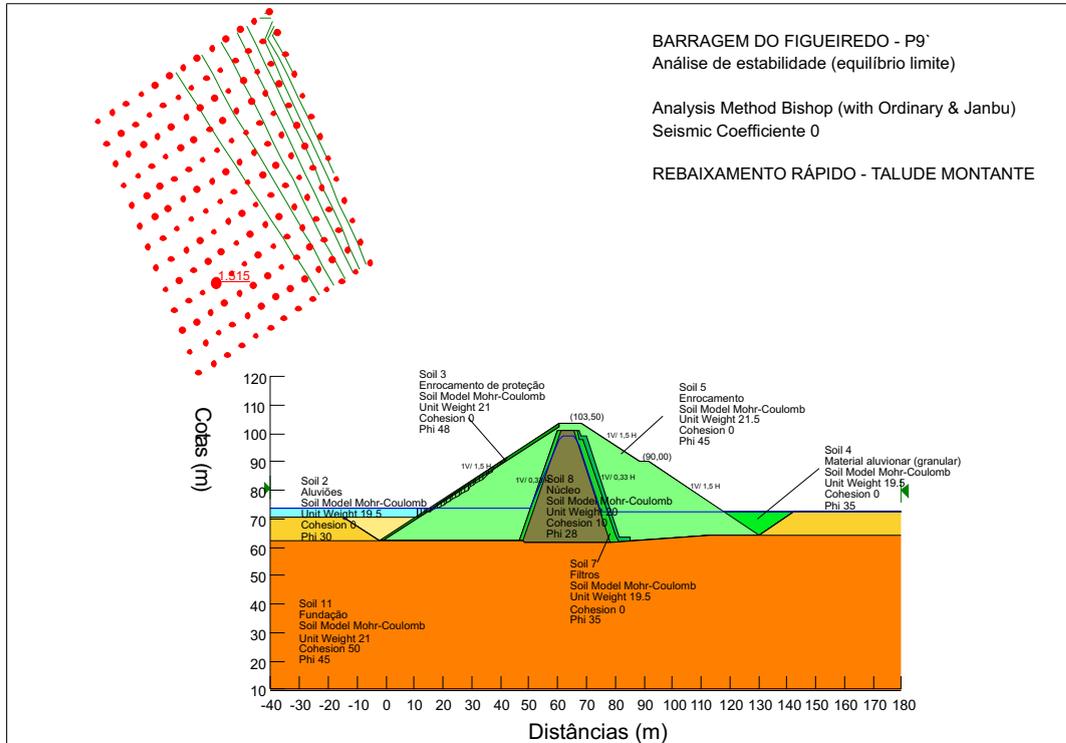
**Fig 2.7 - Análise de estabilidade estática. Fase de construção - Talude de jusante**



**Fig. 2.8 - Análise de estabilidade estática. Regime permanente**



**Fig. 2.9 - Análise de estabilidade estática. Rebaixamento rápido**



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. Salienta-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).

### **2.2.9.2 – Análise de Estabilidade Sísmica**

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

Foi estudado o perfil de maior altura da barragem para a situação de regime permanente.

Considerou-se para a ação sísmica 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.

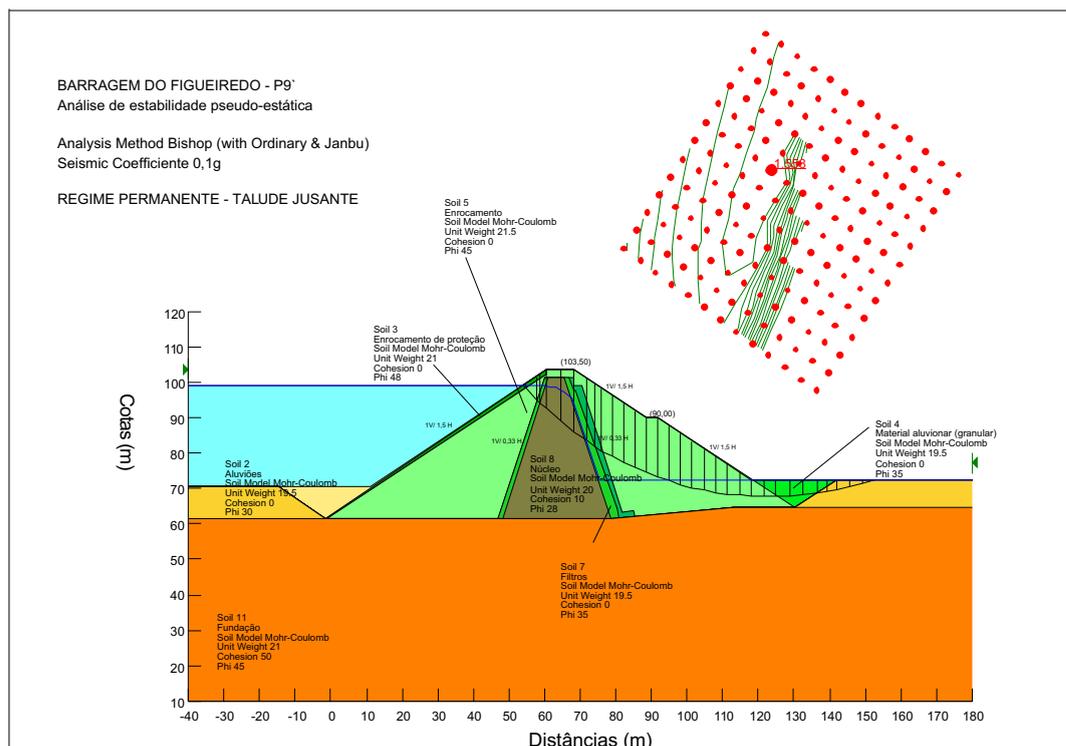
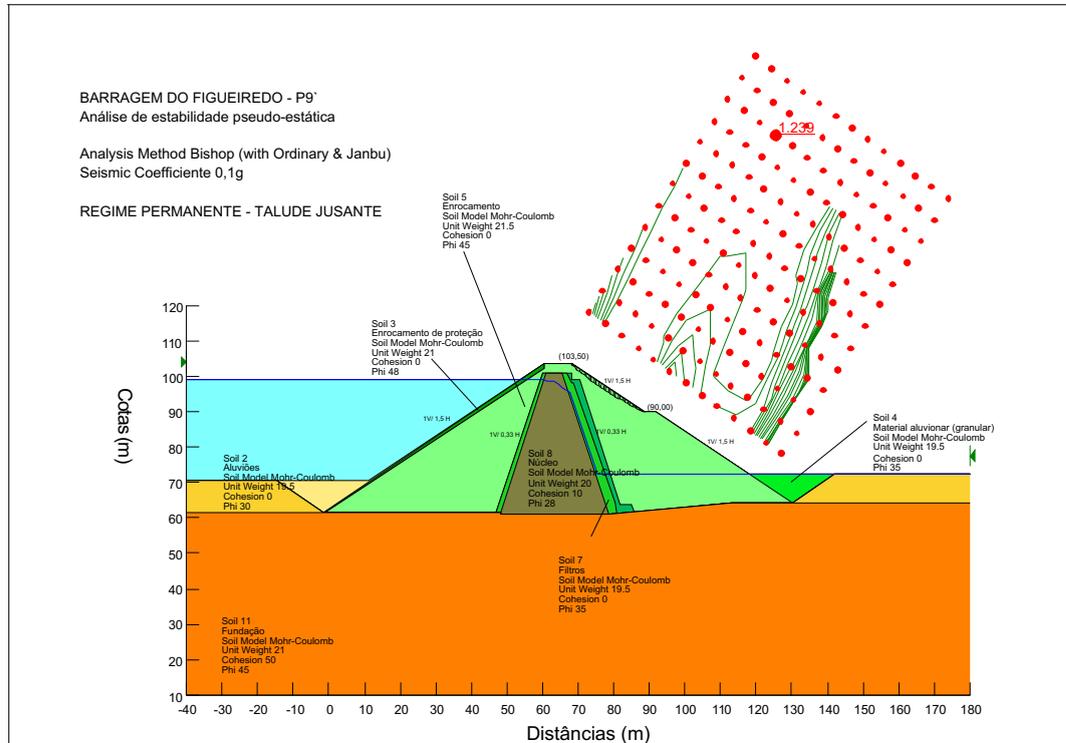
A verificação da segurança sísmica conduziu, para a situação analisada, a fatores de segurança superiores à unidade. A superfície de deslizamento crítica – [Fig. 2.10](#) - é superficial e corresponde a um coeficiente de segurança de 1,2, valor este que aumenta com a profundidade das superfícies.

### **2.2.9.3 – Análise de Tensões-deformações**

A finalidade dos estudos de tensões – deformações realizados consistiu 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 diferente rigidez.

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.

**Fig. 2.10 - Análise de estabilidade sísmica. Regime permanente**



A determinação dos deslocamentos máximos no corpo da barragem associados à fase de construção e ao primeiro enchimento permitiu 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 sobrelevação a conferir ao coroamento.

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

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. Utilizou-se uma malha triangular de 6 nós para representar o terreno de fundação e os materiais de aterro.

Na [Figura 2.11](#) representa-se a malha de elementos finitos e condições de fronteira definidas.

No [Quadro 2.9](#) indicam-se os valores dos parâmetros adotados nos cálculos.

**Quadro 2.9 – Características dos materiais**

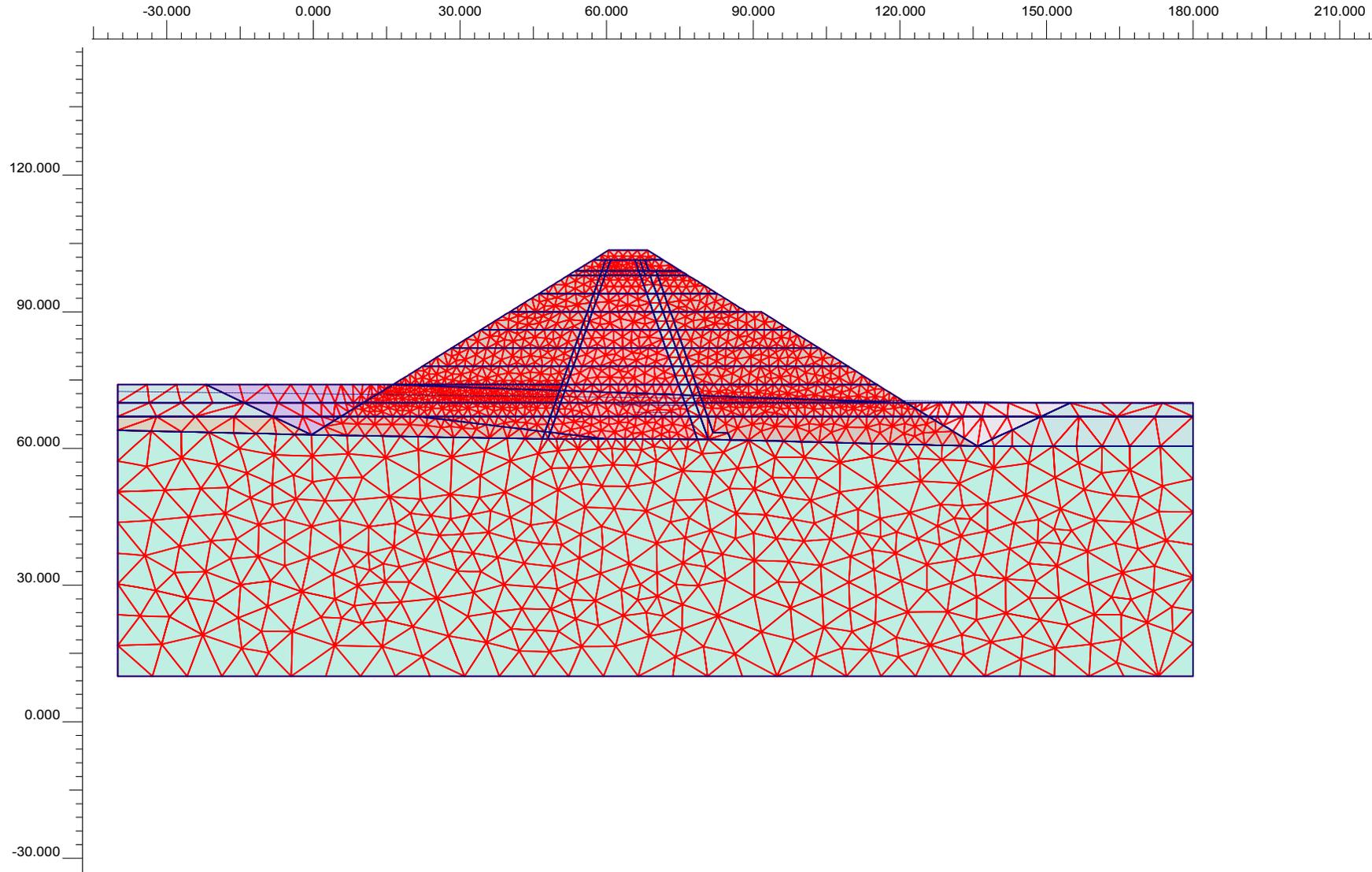
Material	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_h$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$\nu$	E (kPa)
Maciço estabilizador de montante	18,0	21,5	0	45	0,30	60 000
Núcleo	19,0	20,0	10	28	0,40	10 000
Filtros	17,5	19,5	0	35	0,30	30 000
Drenos	17,5	19,5	0	38	0,30	30 000
Maciço estabilizador de jusante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

### Fase de construção

A simulação da construção do aterro contemplou 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.

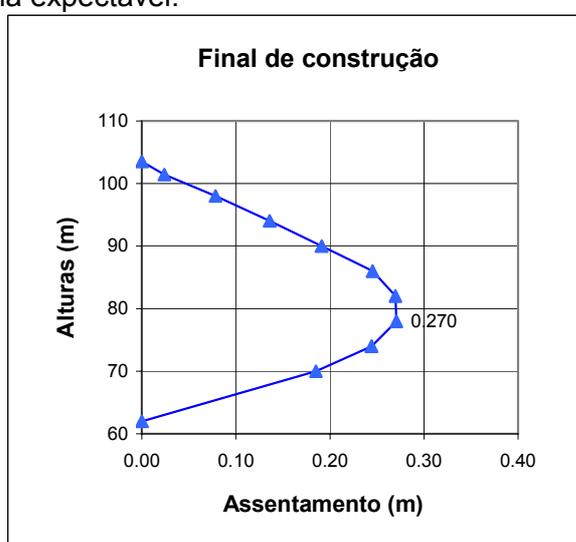
No presente estudo consideraram-se 11 fases, a primeira correspondente ao saneamento e as restantes dez à colocação do aterro.

Fig.2.11 - Malha de elementos finitos e condições de fronteira



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. 2.12, onde se representa a curva do andamento dos deslocamentos ao longo do núcleo da barragem para o final da construção. Verifica-se que, quer o ponto de deslocamentos máximo, quer a curva de deslocamentos, são coerentes e de acordo com o que seria expectável.



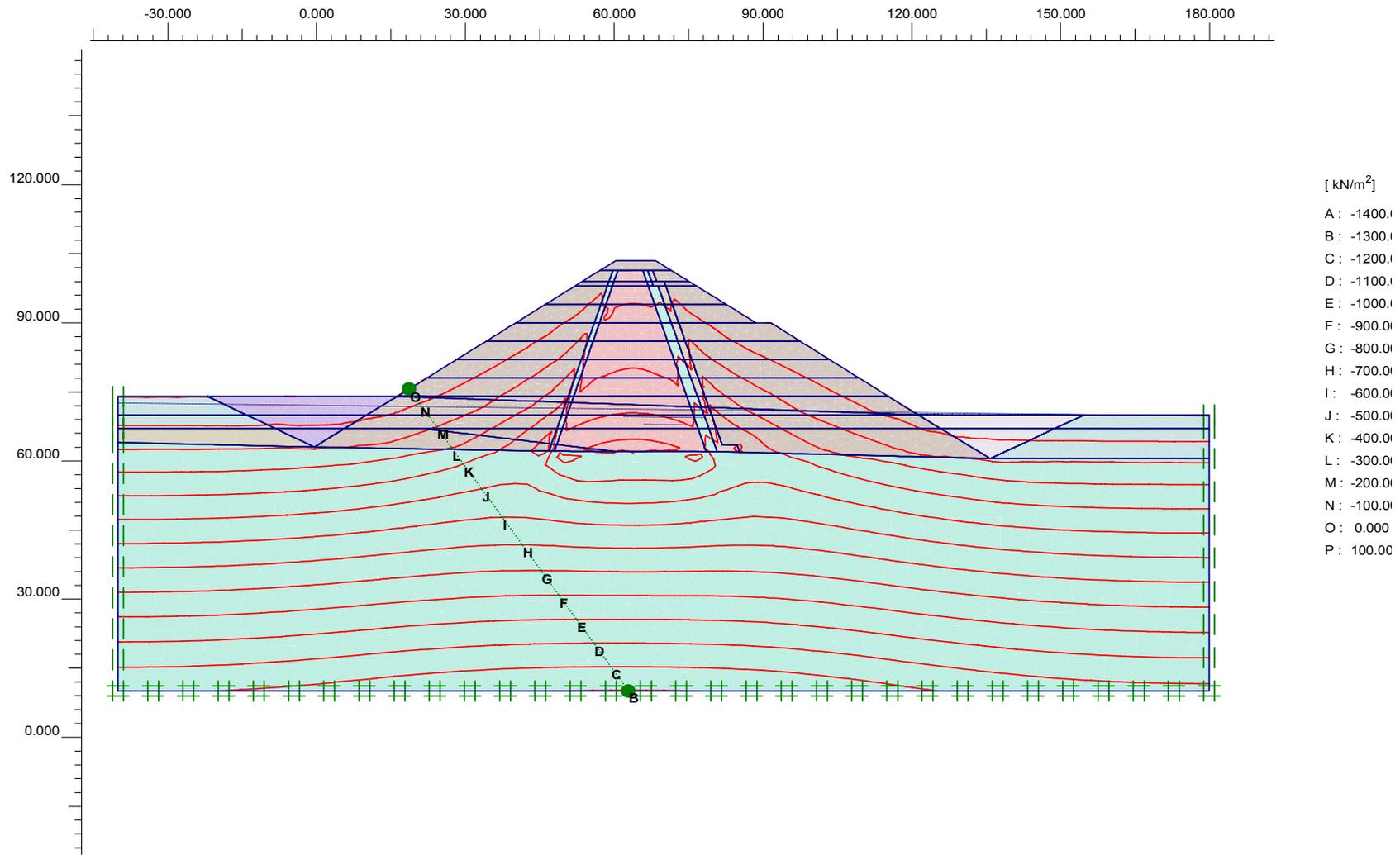
**Fig. 2.12 – Assentamentos ao longo do núcleo da barragem. Fase de construção**

Na Fig. 2.13, 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.

### **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.

Fig.2.13 - Tensões médias totais. Final de construção



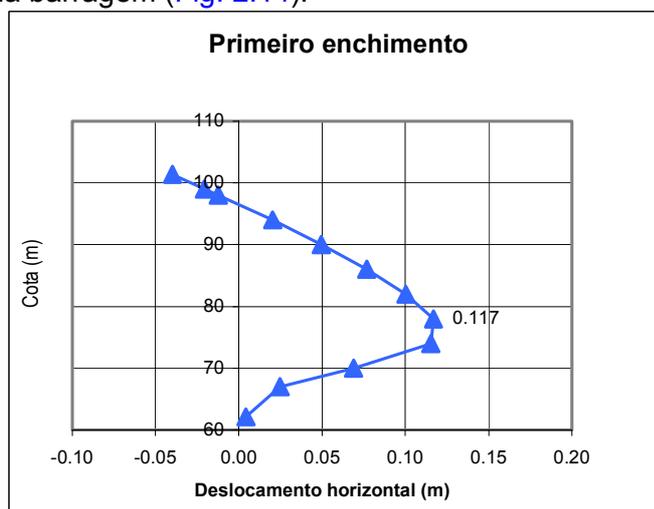
Mean stresses  
 Extreme mean stress  $-1.30 \cdot 10^3$  kN/m<sup>2</sup>

Na realidade, o enchimento da barragem será feito de forma progressiva, estando previstos, dois patamares de enchimento – um à cota (85,00) correspondente a cerca de 15% da capacidade de armazenamento da barragem e outro à cota (92,00) correspondente a cerca de 45% do volume armazenado – em que se procederá ao acompanhamento do comportamento da obra.

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.

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 de montante, a cerca de meia altura da barragem (Fig. 2.14).



**Fig. 2.14 – Deslocamentos Horizontais no Alinhamento de Montante do Núcleo Primeiro Enchimento**

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, garantindo o adequado funcionamento da obra.

## Fase de exploração

No que se refere à evolução dos assentamentos ao longo do tempo, representados graficamente na Fig. 2.15, foi determinada através da seguinte expressão:

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

em que:

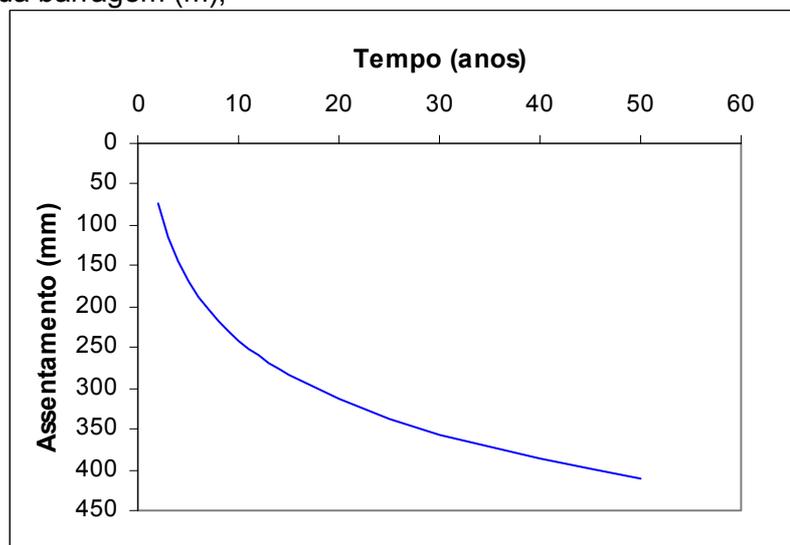
$S_1$  – índice de assentamento

S - assentamento (mm);

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

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

H - altura da barragem (m);



**Fig. 2.15 – Assentamentos ao longo do tempo. Fase de exploração**

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.

### 2.2.9.4 – Estudos de Percolação

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

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.

Nas Figuras 2.16 a 2.18 apresentam-se as malhas de elementos finitos e condições de fronteira correspondentes às três situações analisadas.

Os coeficientes de permeabilidade médios adotados para os diferentes materiais resumem-se no Quadro 2.10.

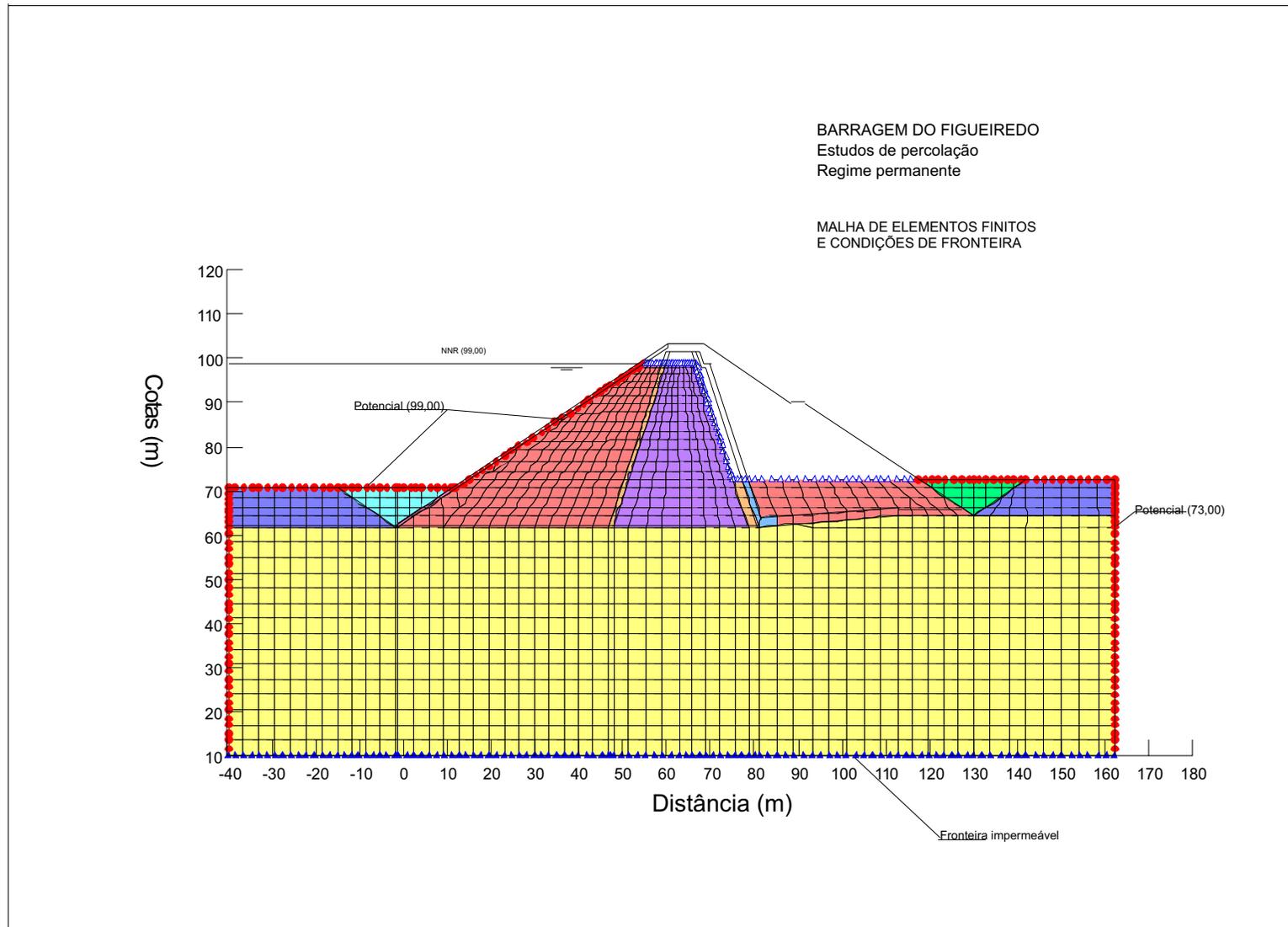
**Quadro 2.10 – Coeficientes de permeabilidade**

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	$2 \times 10^{-6}$	$2 \times 10^{-6}$
	> 8 m de profundidade	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$
	Tratamento de impermeabil.	$1 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-7}$

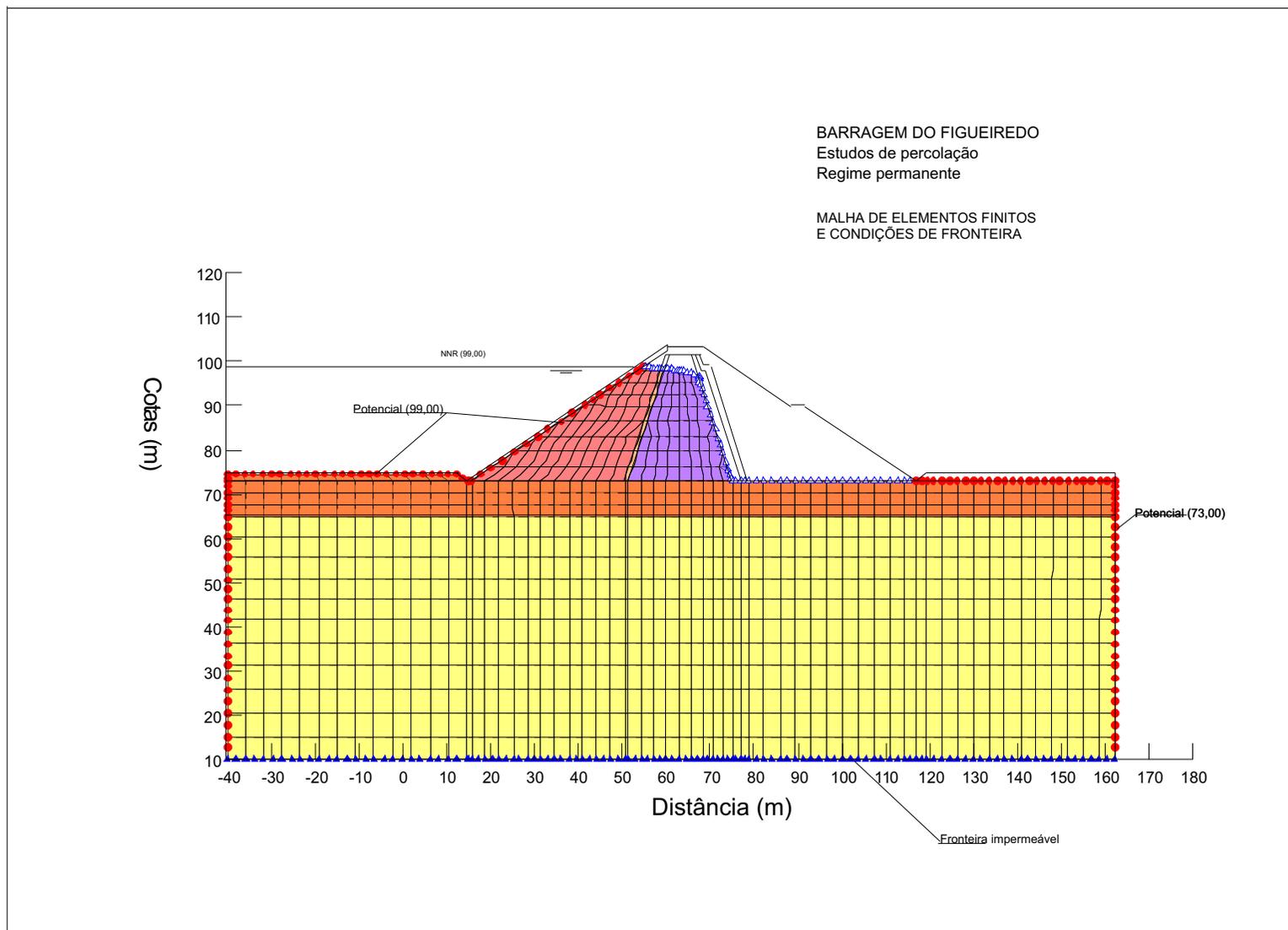
Foram analisados dois perfis distintos, representativos dos cenários identificados através dos trabalhos de prospeção geotécnica realizados. O perfil P10`, no que concerne à fundação, traduz a situação ocorrente em grande parte do desenvolvimento da obra e que se caracteriza por permeabilidades baixas 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, 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.

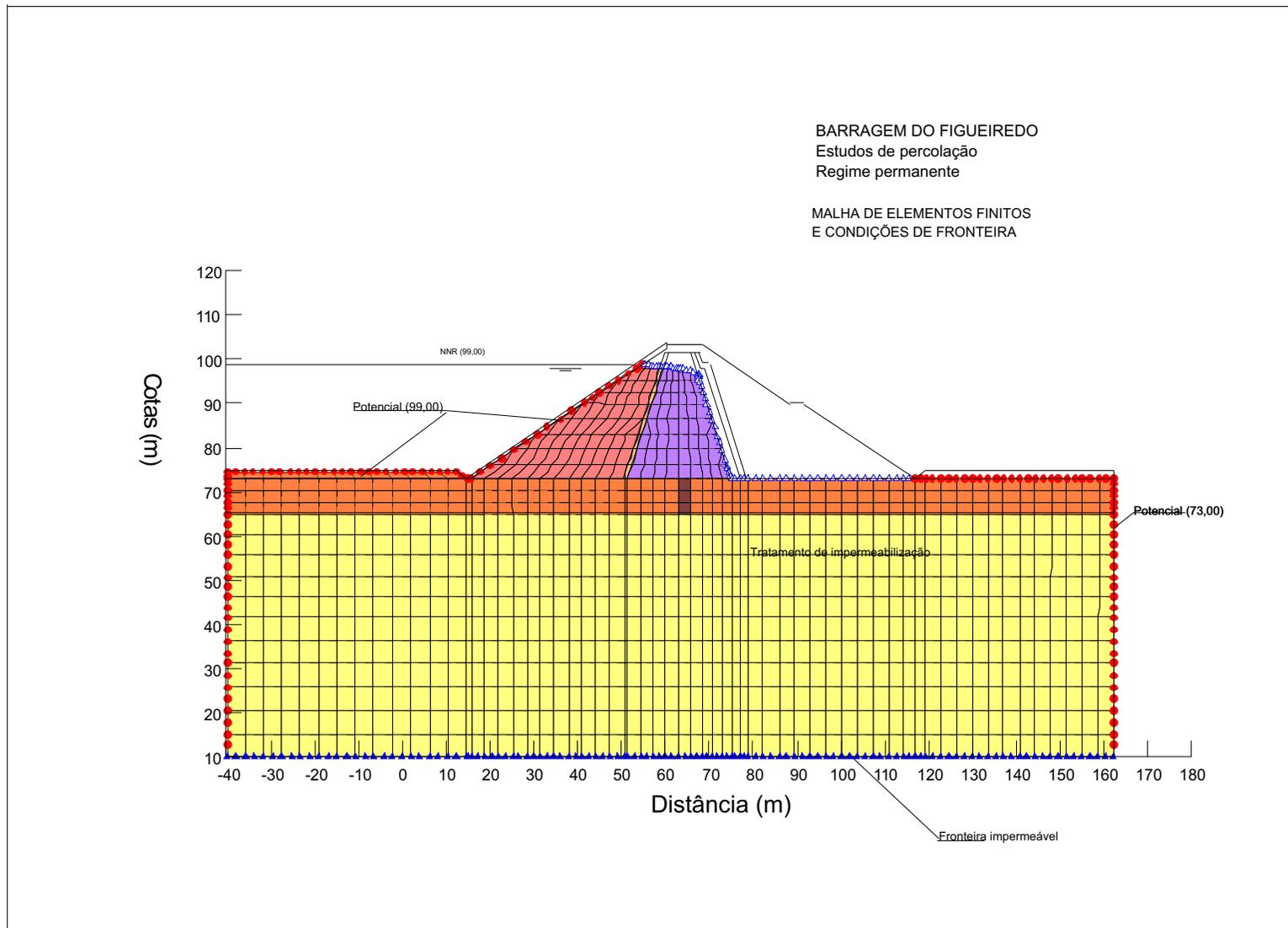
**Fig. 2.16 - Malha de elementos finitos e condições de fronteira. Perfil 10'**



**Fig. 2.17 - Malha de elementos finitos e condições de fronteira. Perfil P9.**



**Fig. 2.18 - Malha de elementos finitos e condições de fronteira. Perfil P9. Tratamento de estanqueidade da fundação**



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

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. 2.19 a 2.21, onde se representam as equipotenciais ao longo da barragem e as vazões percoladas através do aterro e fundação.

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 2.11.

**Quadro 2.11 – 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.

## 2.3 – VERTEDOURO

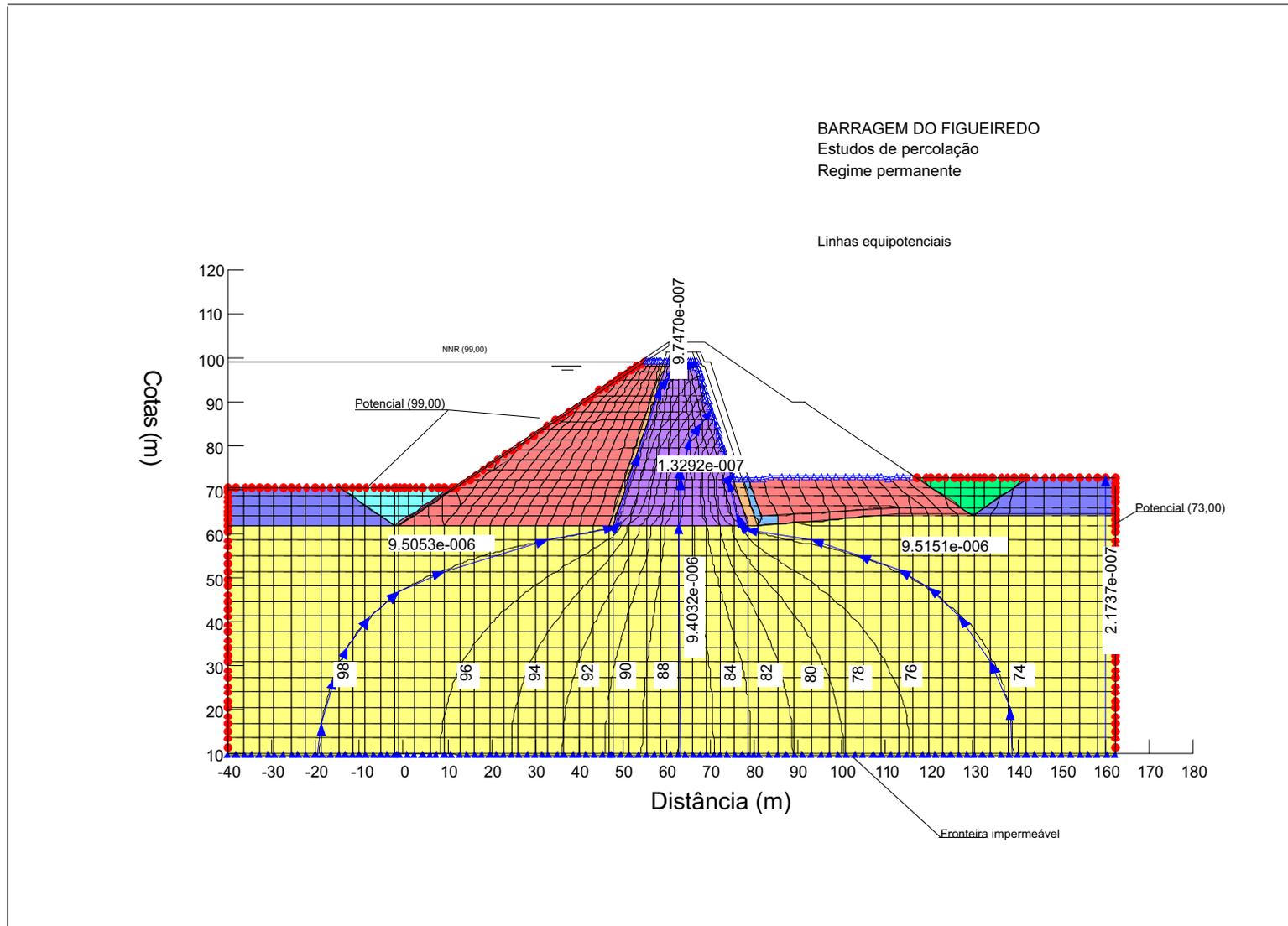
O vertedouro, que se implanta na margem direita, é em canal com soleira frontal de 250 m de desenvolvimento e a cota da crista à (99,00). Apenas a soleira descarregadora será de concreto, sendo todo o canal escavado no maciço rochoso freqüentemente aflorante.

No Quadro 2.12 apresentam-se os resultados dos amortecimentos dos hidrogramas de cheias.

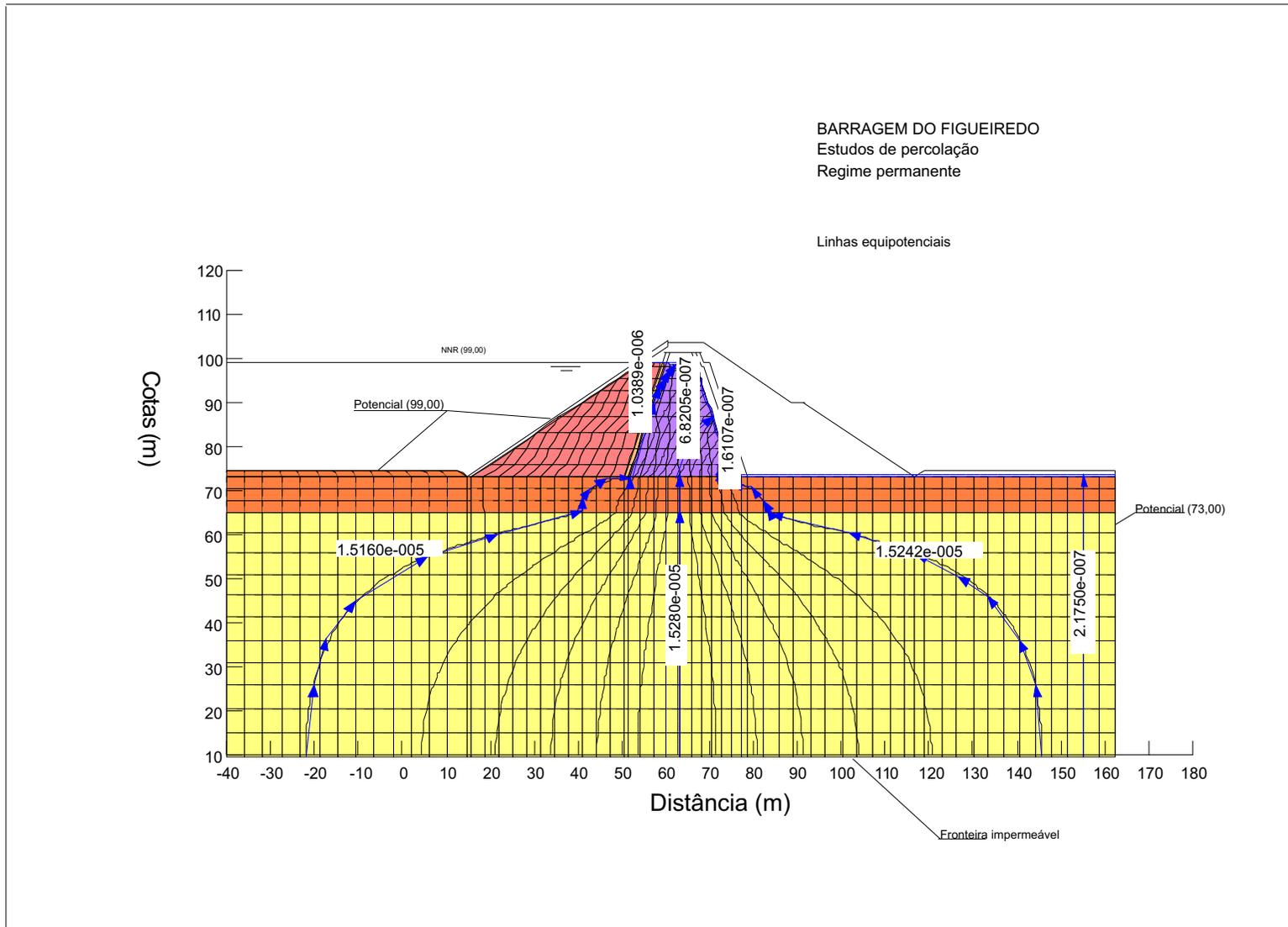
**Quadro 2.12 – Dados Básicos de Cheias**

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)
<b>Centenária</b>	1184	4,74	1,67
<b>Milenar</b>	1855	7,42	2,26
<b>Decamilenar</b>	2592	10,37	2,82

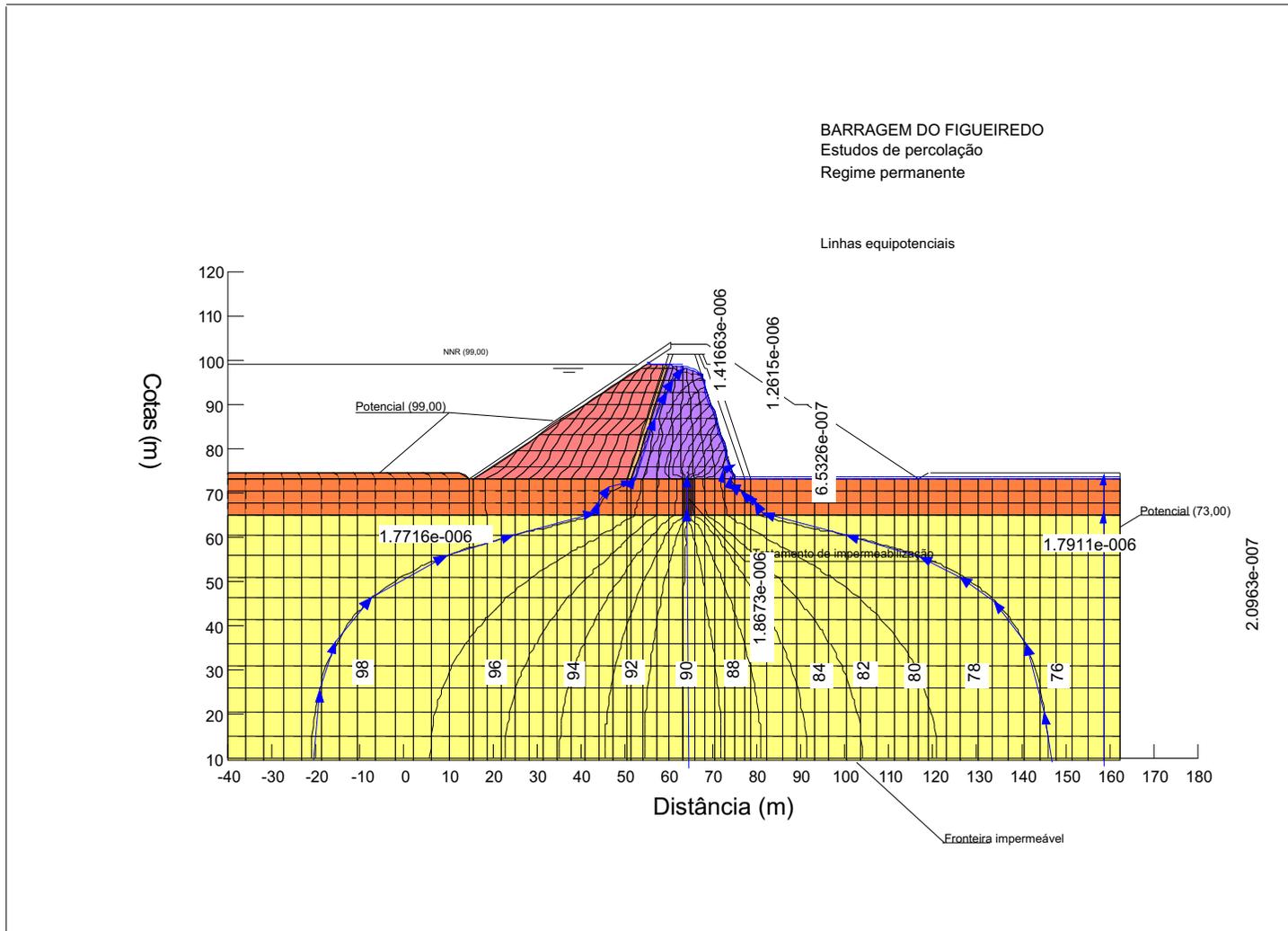
**Fig. 2.19 - Linhas equipotenciais e vazões. Perfil P10**



**Fig. 2.20 - Linhas equipotenciais e vazões. Perfil P9**



**Fig. 2.21 - Linhas equipotenciais e vazões. Perfil P9 com tratamento de impermeabilização**



Na [Fig. 2.22](#) apresentam-se as características geométricas da soleira descarregadora.

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

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 pente 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.

Nos [Quadros 2.13 e 2.14](#) apresentam-se os cálculos da curva de remanso para a cheia milenar, respectivamente, para coeficientes de Manning de  $n = 0,025$  e  $n = 0,040$ . No [Quadro 2.15 e Fig. 2.23](#) apresentam-se as cotas reais do escoamento.

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).

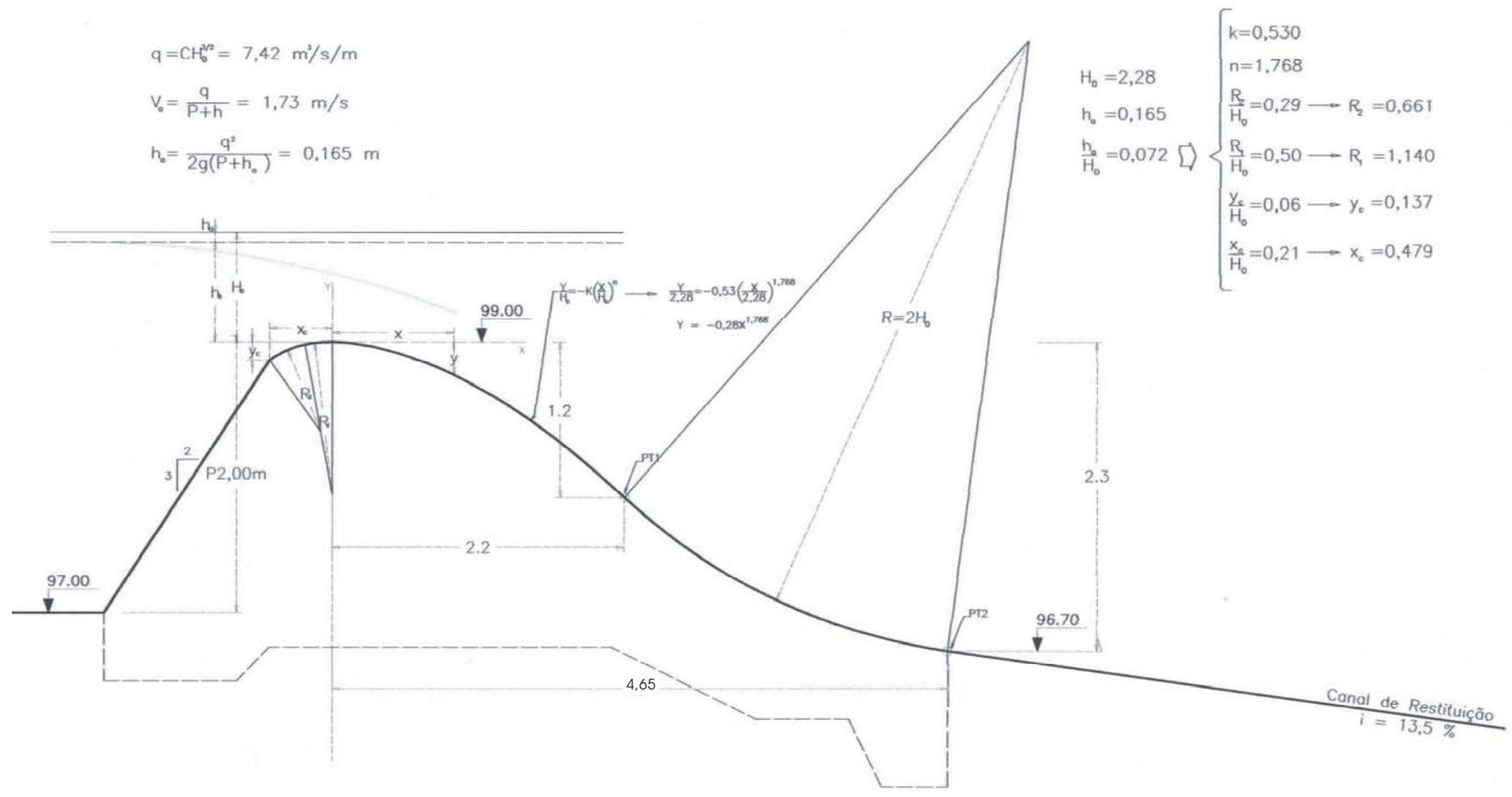
Imediatamente a jusante da bacia de dissipação, na cota 74, inicia-se o canal de restituição. O canal de restituição tem uma largura constante de 200 m, declividade igual a 1,0 m/km e estende-se ao longo de cerca de 600 m.

Na [Fig. 2.24](#) apresenta-se a linha de água no canal de restituição e no rio para cheias com  $T=100$ , 1000 e 10 000 anos.

## **2.4 – TOMADA DE ÁGUA**

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.

Figura 2.22 – Características Geométricas da Soleira do Vertedouro



**Quadro 2.13 – 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

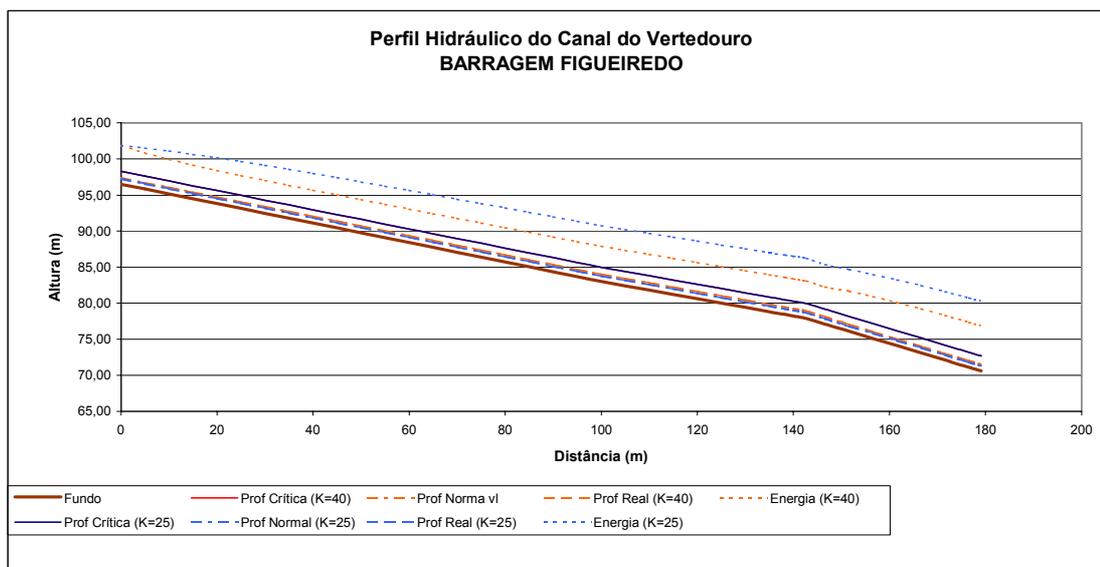
**Quadro 2.14 – Cálculo da Curva do Remanso do Canal de Descarga para  $n= 0,040$  e  $Q= 1855 \text{ m}^3/\text{s}$**

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)	( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )	(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

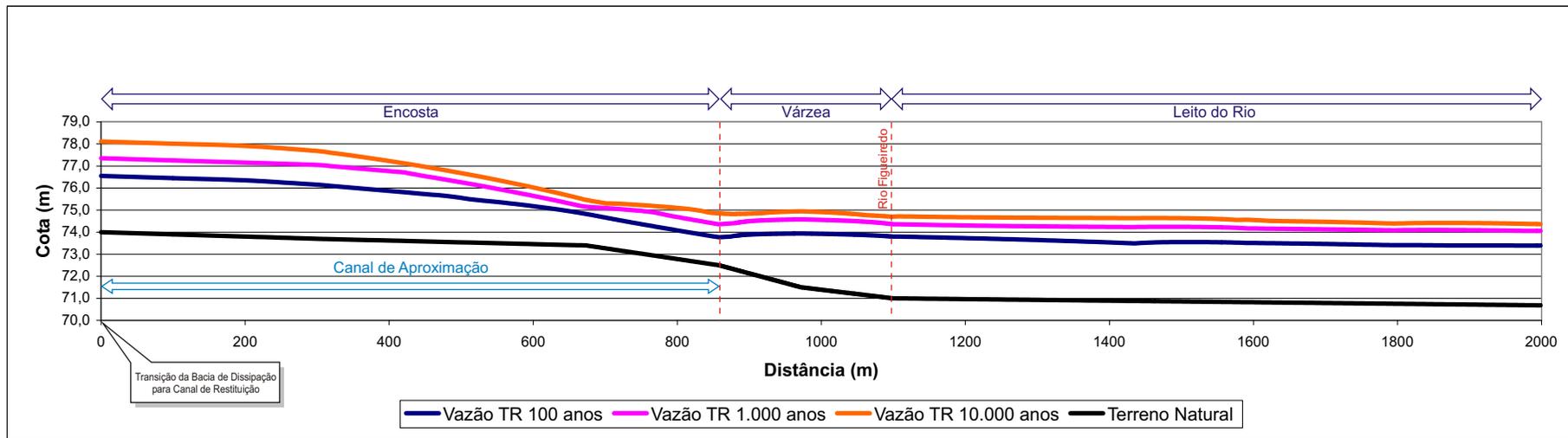
**Quadro 2.15 – Cotas Reais do Escoamento no Canal de Descarga para Q= 1855 m³/s**

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



**Figura 2.24 - 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**

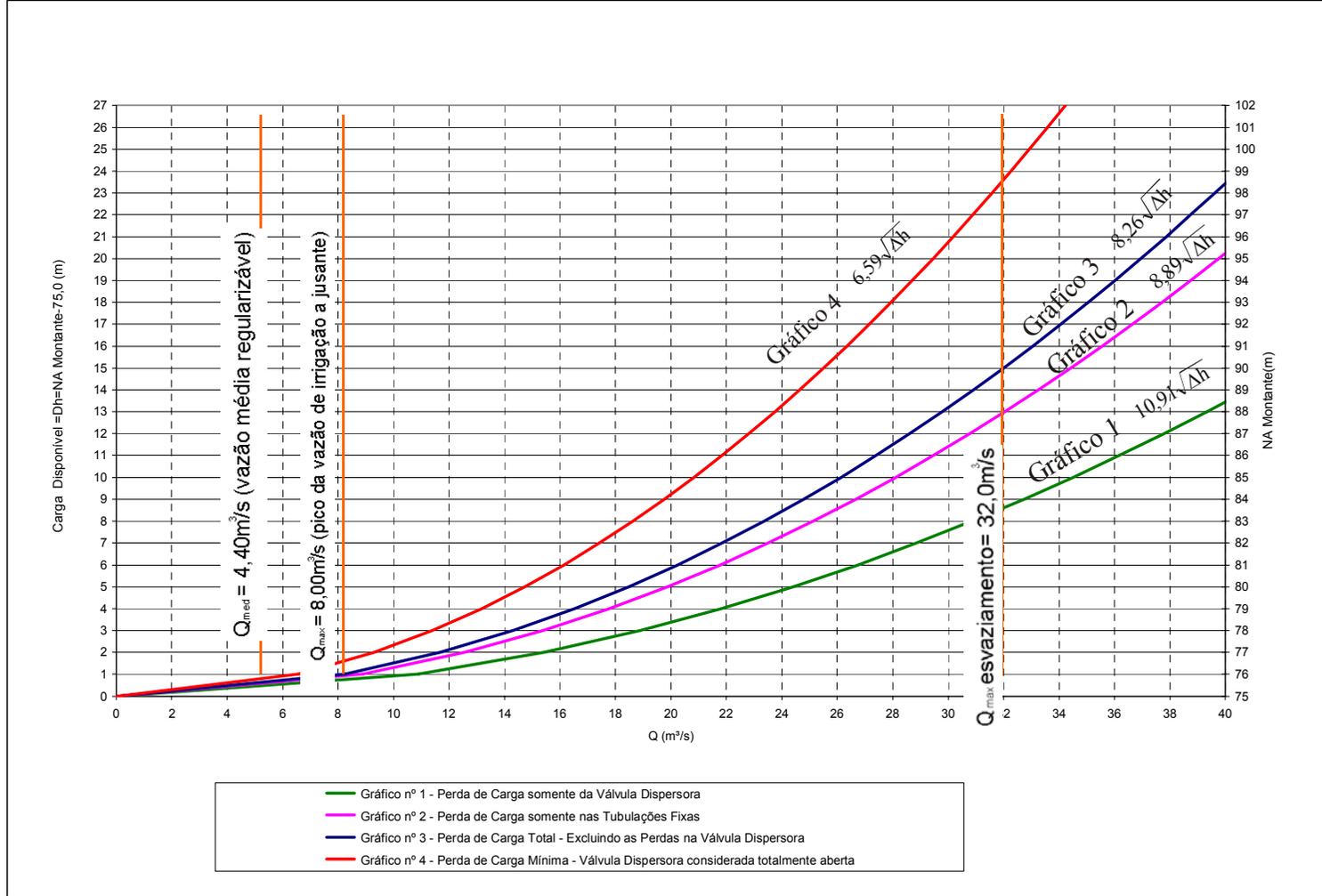


A galeria tem um comprimento de 95 m e localiza-se a 30 m da margem direita do rio Figueiredo. Foi prevista em tubulação de aço carbono de 2 m de diâmetro, revestida em concreto estrutural. A montante, na torre de tomada, acessível por uma passarela, será instalada uma comporta plana tipo vagão 1,6 m x 2 m, manobrada por servomotor. À entrada existe uma grade de proteção construída em aço carbono de dimensão de 3 m x 4 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, equipadas com servomotor elétrico, para eventual manutenção das válvulas dispersoras.

Nos [Quadros 2.16 e 2.17](#) e nas [Figuras 2.25, 2.26 e 2.27](#) apresentam-se os dados que expressam a variação de vazão em função de perda de carga.

Figura 2.25 - Captação Barragem Figueiredo  
Gráfico Dh (m) x Q (m³/s)

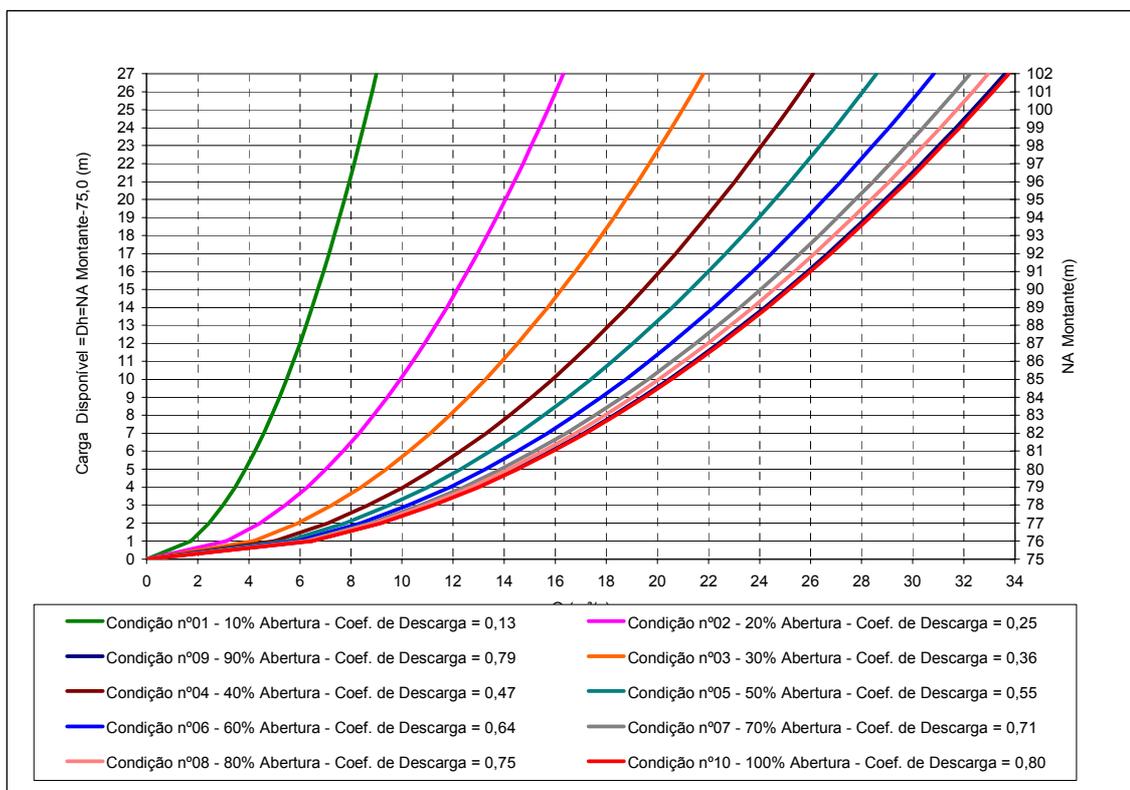


**Quadro 2.16 - Coeficientes de Descarga e Perdas de Carga em Válvula Dispersora, utilizando valores indicados por diferentes fontes de pesquisa; valores adotados para definição da curva de descarga da Tomada d'água;**

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 $K_v = \left(\frac{1}{C}\right)^2$	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 2.26 - 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**

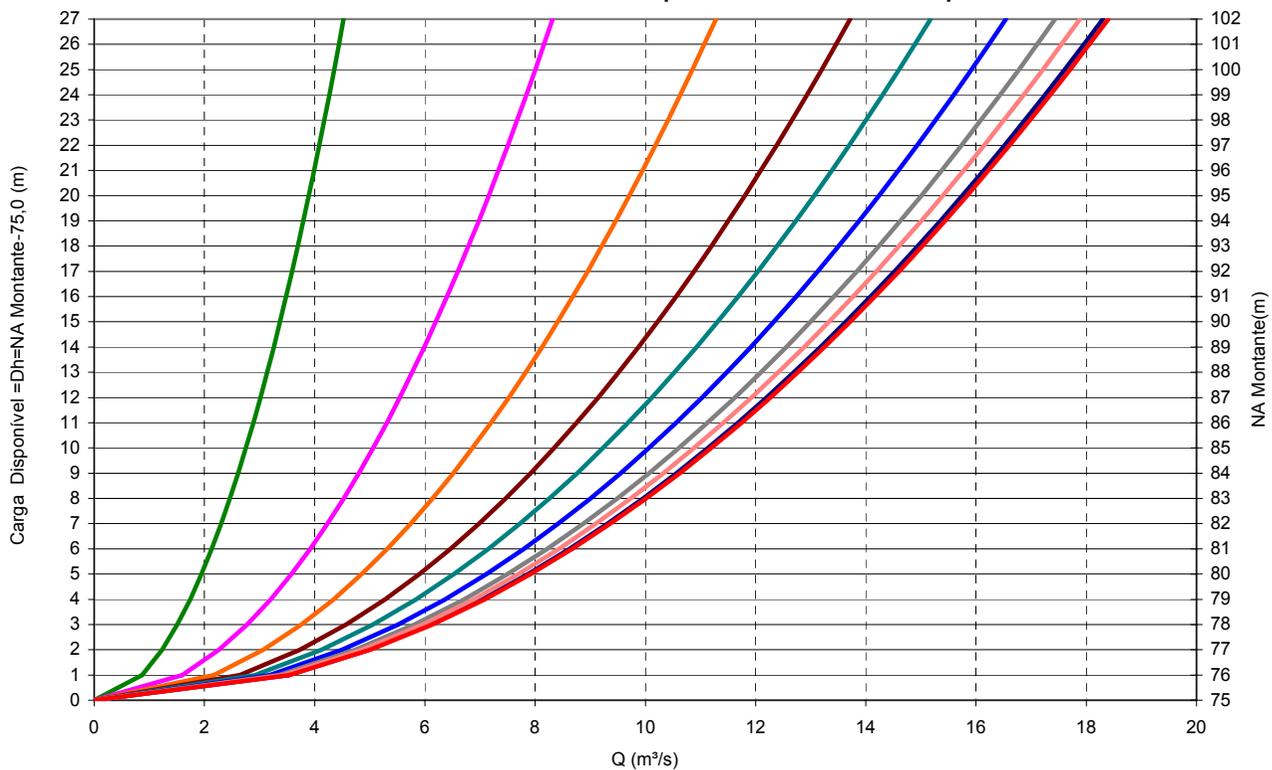


Quadro 2.17 - Cálculos Hidráulicos da Tomada d'Água e definição da Equação da Vazão em Função da Carga Disponível para uma Válvula Dispensora totalmente aberta

Item	Componente	Extensão (m)	Tipo de Seção			Área (m²)	$\left(\frac{a_t}{a_o}\right)^2$	Tipo de Perda	Símbolo da Perda	Perda Média							
			Retangular		Circular					Localizadas	Perdas por Fricção					$\left(\frac{a_t}{a_o}\right)^2 \times k$	
			b (m)	h (m)	d (mm)						Coefficiente de perda (k)	Seção (m²)	Perímetro (m)	Raio Hidráulico (m)	n		Extensão (m)
1	Grade		3,0	4,0		9,95	0,10	Grade	$K_g$	0,39							0,04
																	0,00
																	0,00
2	Entrada		3,0	4,0		12,00	0,07	Entrada	$K_e$	0,20							0,01
		5,0				7,60	0,17	Fricção	$K_f$		7,60	10,60	0,72	0,014	5,00	0,03	0,01
			1,6	2,0		3,20	0,96	Contração	$K_{ct}$	0,10							0,10
3	Comporta de Guarda (*)		1,6	2,0		3,20	0,96	Comporta	$K_{cp}$								
		2,5				3,20	0,96	Fricção	$K_f$								
4	Comporta Principal		1,6	2,0		3,20	0,96	Comporta	$K_{cp}$	0,10							0,10
		0,0				3,20	0,96	Fricção	$K_f$		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	$K_{cd}$	0,10							0,10
		5,0				3,20	0,96	Fricção	$K_f$		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	$K_t$		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°	$K_{bc}$	0,50							2,08
		6,0			1.400	1,54	4,16	Fricção	$K_f$		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°	$K_c$	0,07							0,29
		6,0			1.400	1,54	4,16	Fricção	$K_f$		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	$K_{vb}$	0,24							1,00
																	0,00
10	Tubulação	1,0			1.400	1,54	4,16	Tubulação	$K_t$		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	$K_{ve}$	1,56							6,51
	Coef. Descarga= 0,80																0,00
	100% aberta																0,00
12	Saída				1.400	1,54	4,16	Saída	$K_s$	1,00							4,16
																	0,00
																	0,00
										TOTAL DE PERDAS ( $\Sigma K_i$ )							15,32

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

**Figura 2.27 - Gráfico da vazão em função da carga disponível para diferentes coeficiente de descargas, utilizando 01 Válvula Dispensora, variando-se as suas aberturas - Valores adotadas a partir da coluna em destaque**



- |   |  |
|---|--|
| — Condição nº01 - 10% Abertura - Coef. de Descarga = 0,13 | — Condição nº02 - 20% Abertura - Coef. de Descarga = 0,25  |
| — Condição nº09 - 90% Abertura - Coef. de Descarga = 0,79 | — Condição nº03 - 30% Abertura - Coef. de Descarga = 0,36  |
| — Condição nº04 - 40% Abertura - Coef. de Descarga = 0,47 | — Condição nº05 - 50% Abertura - Coef. de Descarga = 0,55  |
| — Condição nº06 - 60% Abertura - Coef. de Descarga = 0,64 | — Condição nº07 - 70% Abertura - Coef. de Descarga = 0,71  |
| — Condição nº08 - 80% Abertura - Coef. de Descarga = 0,75 | — Condição nº10 - 100% Abertura - Coef. de Descarga = 0,80 |