

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**COMPANHIA DE DOS RECURSOS HÍDRICOS -COGERH**  
**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**PROURB CE**

**PROJETO EXECUTIVO E PLANO DE APROVEITAMENTO**  
**DA BARRAGEM FAÉ E PROJETO EXECUTIVO**  
**DA ADUTORA DE QUIXELÔ**

**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FAÉ**

**TOMO IV - RELATÓRIO GERAL DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM**

**VOLUME 1 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO**

**VBA**

CONSULTORES

FORTALEZA  
AGOSTO DE 1999

GOVERNO DO ESTADO



# GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH

PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS  
RECURSOS HÍDRICOS PROURB/CE

## PROJETO EXECUTIVO E PLANO DE APROVEITAMENTO DA BARRAGEM FAÉ E PROJETO EXECUTIVO DA ADUTORA DE QUIXELÔ

### BARRAGEM

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM FAÉ

TOMO IV

RELATÓRIO GERAL DO PROJETO  
EXECUTIVO DA BARRAGEM

VOLUME 1

DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO



Ítem: 02575 - Prep (X) Scan ( ) Index ( )

Projeto Nº 0243/04/01/B

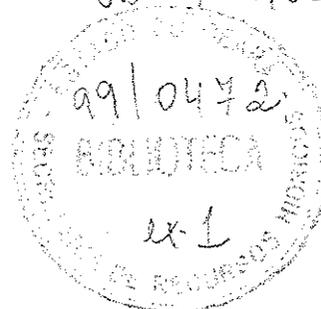
Volume 1 FORTALEZA

Qtd. A4 Qtd. A3

Qtd. A2 Qtd. A1 AGOSTO/99

Qtd. A0 Outros

0243/04/01/B



---

APRESENTAÇÃO

000003

## APRESENTAÇÃO

Este conjunto de documentos se constitui no Relatório Final do Projeto Executivo e Plano de Aproveitamento da Barragem Faé e da Adutora de Quixelô, desenvolvido no âmbito do contrato nº 34/97/PROURB/CE, firmado entre a VBA CONSULTORES, e SRH – SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS.

O Projeto do Açude Faé se insere no contexto do PROURB/CE - PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO, que se encontra em fase de implementação pelo Governo do Estado do Ceará, em parceria com o Banco Mundial.

O PROURB é constituído por dois segmentos básicos:

- de ações no setor de urbanismo, com a implantação de projetos Habitar, em municípios selecionados, para população de baixa renda;
- de ações no setor hídrico, com a implantação de açudes e adutoras associadas para abastecimento d'água de populações urbanas, dentro de uma adequada Política de Recursos Hídricos para o Ceará.

O Açude Faé, com 23,37 hm<sup>3</sup>, é um dos açudes escolhidos dentro do elenco de quarenta unidades previstas no PROURB, devendo ter como função primordial o abastecimento da cidade de Quixelô e a perenização do Riacho Faé.

O Projeto do Açude Faé compreende, de fato, os seguintes estudos:

- Projeto Executivo da Barragem;
- Projeto Executivo da Adutora de Quixelô;
- Plano de Aproveitamento do Açude, com identificação dos usos programados para o reservatório, em especial a irrigação de áreas propícias e a piscicultura, incluindo a avaliação econômica dos empreendimentos.

No global, este Relatório Final está composto dos seguintes documentos:

Tomo I: Relatório dos Estudos Preliminares

Tomo II: Relatório dos Estudos Básicos

- Volume 1: Estudos Topográficos
- Volume 2: Estudos Geológico-geotécnicos
- Volume 3: Estudos Hidrológicos

Tomo III: Relatório de Concepção Geral

Tomo IV: Relatório Geral do Projeto Executivo da Barragem

- Volume 1 - Descrição Geral do Projeto
- Volume 2 - Memorial de Cálculo

- Volume 3 - Quantitativos e Especificações Técnicas
- Volume 4 - Orçamento
- Volume 5 - Plantas
- Volume 6 - Relatório de Síntese

Tomo V: Relatório do Plano de Aproveitamento do Reservatório

Tomo VI: Relatório da Análise Econômica

Tomo VII: Relatório do Projeto Executivo da Adutora

- Volume 1 - Descrição Geral do Projeto
- Volume 2 - Memorial de Cálculo
- Volume 3 - Quantitativos e Especificações Técnicas
- Volume 4 - Orçamento
- Volume 5 - Plantas

O Relatório Geral do Projeto Executivo da Barragem constitui o Tomo IV, no qual se insere o Volume 1 - Descrição Geral do Projeto. Este Volume é apresentado na forma de cinco capítulos.

O primeiro capítulo faz uma introdução geral do projeto da barragem.

O segundo capítulo descreve a localização e os meios de acessos ao local do barramento.

O terceiro apresenta uma ficha técnica com as características principais do empreendimento.

O quarto capítulo apresenta uma síntese descritiva dos estudos de base efetuados durante o desenvolvimento do projeto executivo da barragem.

A concepção final e o dimensionamento do reservatório são tratados no quinto capítulo.

O sexto e último capítulo apresenta um memorial descritivo, em que se expõe, de forma individual, as principais características dos elementos constituintes do projeto.

ÍNDICE

---

000006

## ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	PÁGINA
1 - INTRODUÇÃO .....	7
2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	9
3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO: FICHA TÉCNICA.....	12
4 - ESTUDOS DE BASE .....	15
4.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS .....	15
4.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS.....	16
4.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS .....	17
4.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....	23
5 - ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO .....	26
5.1 - FATORES CONDICIONANTES E AS POSSÍVEIS ALTERNATIVAS .....	26
5.1.1 - CONDICIONANTES HIDROLÓGICOS .....	26
5.1.2 - CONDICIONANTES TOPOGRÁFICOS .....	29
5.1.3 - CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS .....	29
5.1.4 - CONDICIONANTES ASSOCIADOS À INTERFERÊNCIA EM NÚCLEOS POPULACIONAIS .....	30
5.2 - ALTERNATIVAS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	30
5.3 - ANÁLISE E SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS.....	31
5.3.1 - SIMULAÇÃO DO RESERVATÓRIO PARA DEFINIÇÃO DAS COTAS DE CHEIA MÁXIMA ADMISSÍVEIS	31
5.3.2 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....	32
5.3.3 - SELEÇÃO DA ALTERNATIVA PARA DESENVOLVIMENTO DO PROJETO EXECUTIVO .....	33
6 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO.....	37
6.1 - MACIÇO DE TERRA COMPACTADA .....	38
6.2 - VERTEDOURO .....	42
6.3 - TOMADA D'ÁGUA.....	42

---

---

1 - INTRODUÇÃO

000008

## 1 - INTRODUÇÃO

A Barragem Faé se constitui em importante elemento da infra-estrutura hídrica do Município de Quixelô-CE. Sua seleção prioritária no PROURB decorreu dos grandes benefícios que deverá acarretar para a região circunvizinha à sede do Município, cuja disponibilidade hídrica é atualmente inferior às demandas e potencialidades locais.

A Barragem propriamente dita compreenderá um conjunto de obras constituído, basicamente, por um maciço de terra compactada, com 329,0 m de extensão, 20,0 m de altura máxima e coroamento na cota 244,70; por um canal vertedouro com 80,0 m de largura, na margem direita (com soleira fixada na cota 241,0), no qual é prevista a construção de um cordão de fixação para regularização do nível de acumulação do reservatório; e por uma tomada d'água tipo galeria, com conduto de 600 mm de diâmetro e controle de saída a jusante. A obra visará atender o abastecimento humano da cidade de Quixelô-Ce, bem como permitirá o desenvolvimento de atividades associadas ao turismo, piscicultura, irrigação e aproveitamento agrícola das vazantes nas margens do lago.

O reservatório a ser formado terá 23,4 milhões de metros cúbicos de capacidade de acumulação máxima, possibilitando o estabelecimento de uma descarga regularizada de 0,29 m<sup>3</sup>/s.

O presente relatório tem como objetivo a apresentação de informações e resultados diretamente associados ao Projeto Executivo da Barragem Faé, envolvendo aspectos hidrológicos, geológico-geotécnicos e econômicos.

Inicialmente, é apresentada uma Ficha Técnica na qual são mostradas as características principais do empreendimento, incluindo áreas, cotas, volumes e parâmetros geométricos associados a cada um dos elementos constituintes do projeto.

Em seguida, é apresentada uma descrição sumária dos estudos de base efetuados durante o desenvolvimento do projeto executivo da Barragem Faé. Nesta descrição são apresentadas as principais conclusões obtidas durante as investigações associadas à elaboração do projeto, e são discutidos os efeitos decorrentes destas conclusões no dimensionamento das obras.

Posteriormente, é descrito, de forma resumida, o procedimento adotado durante os estudos de concepção e otimização do reservatório, mencionando-se as possíveis alternativas em função dos fatores condicionantes de projeto.

Finalizando, é apresentada uma descrição geral de cada uma das obras associadas à implantação do reservatório, com ênfase nas características técnicas e construtivas individuais, visando facilitar o acesso a informações relevantes sobre o Projeto Executivo.

**2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO AO LOCAL DA BARRAGEM**

---

000010

## 2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A barragem em estudo tem sua construção prevista para um local do Riacho Faé situado ao norte da sede do Município de Quixelô-Ce, em um trecho a montante do Povoado de Carnaubinha. A ligação entre o aglomerado urbano e a área da barragem é feita através do trecho inicial, de 16,5 km, da estrada vicinal que liga esta cidade ao Município de Acopiara. Esta estrada, com 47 km de extensão total, nasce no setor norte da sede do Município de Quixelô e termina na rodovia CE-021, em um cruzamento situado a 9,0 km ao sul da Cidade de Acopiara.

O acesso a Quixelô, partindo-se de Fortaleza, pode ser feito, sobre rodovias pavimentadas, seguindo-se duas diferentes trajetórias: a primeira envolve um percurso total de 470 km, passando pelos municípios de Pacajus, Russas, Jaguaribe, Icó e Iguatu, e pelas rodovias BR-116 (402 km, até a cidade de Icó), CE-184 e CE-021; a segunda trajetória, de menor extensão total (384 km), inicia-se na BR-116 (76 km) e abrange trechos das rodovias BR-122, CE-013 e CE-021, passando pelas cidades de Pacajus, Quixadá, Quixeramobim, Mombaça e Acopiara (esta última situada a 336 km da capital do Estado).

Na Figura 2.1 é apresentado um mapa de localização e acesso à área de implantação do novo reservatório.

**3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO - FICHA TÉCNICA**

---

---

000013

### 3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO PROJETO: FICHA TÉCNICA

#### a) Características Gerais

- Localização: Sítio Carnaubinha – Quixelô-Ce
- Sistema: Jaguaribe
- Curso d'água barrado: Riacho Faé
- Área da bacia hidrográfica: 309,0 km<sup>2</sup>
- Área da bacia hidráulica: 572,39 ha
- Capacidade do reservatório: 23,4 hm<sup>3</sup>
- Volume Morto: 0,63 hm<sup>3</sup>
- Cota do NA máximo operacional: 241,00
- Cota do NA máximo de cheia (T.R. = 1.000 anos): 243,43
- Cota do NA mínimo operacional: 232,00
- Vazão regularizada (f = 90%): 0,292 m<sup>3</sup>/s
- Precipitação média Anual: 777 mm
- Volume afluyente médio anual: 23,9 hm<sup>3</sup>
- Vazão média: 0,76 m<sup>3</sup>/s

#### b) Barragem

- Tipo: terra homogênea (cut-off)
- Altura máxima: 20,0 m
- Largura máxima da base: 88,84 m
- Extensão pelo coroamento: 329,0 m
- Cota do coroamento: 244,70 m
- Borda livre (revanche): 3,70 m
- Folga da barragem: 1,27 m
- Volume do maciço: 192.028 m<sup>3</sup>
- Talude
  - montante: 1:2,5
  - jusante: 1:2 (com berma de 3,0 m na cota 236,70 m)

c) Sangradouro

- Tipo: canal em rocha, na cota 241,0 , com cordão de fixação em concreto ciclópico
- Largura: 80,0 m
- Comprimento: 180,0 m
- Lâmina máxima de sangria (T.R. = 1.000 anos): 2,43 m
- Vazão de projeto (T.R. = 1.000 anos): 426,4 m<sup>3</sup>/s
- Velocidade máxima de escoamento (T.R. = 1.000 anos): 2,19 m/s
- Volume de Corte: 98.850 m<sup>3</sup>

d) Tomada D'água

- Tipo: galeria com controle de jusante
- Comprimento total: 90,7 m
- Diâmetro: 600 mm
- Cota da geratriz inferior a montante: 229,80 m
- Cota da geratriz inferior a jusante: 229,30 m

4- ESTUDOS DE BASE

000016

## 4 - ESTUDOS DE BASE

Todos os estudos de base necessários à elaboração do Projeto Executivo da Barragem Faé foram diretamente desenvolvidos pela VBA CONSULTORES ou realizados sob a orientação do corpo técnico da empresa. Estes estudos, que foram subdivididos em três tópicos principais — Estudos Topográficos, Geológico-geotécnicos e Hidrológicos —, estão apresentados sob a forma de relatório específico (ver Tomo II do Relatório Geral) e encontram-se descritos, de maneira resumida, a seguir.

### 4.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os estudos topográficos necessários à elaboração do Projeto Executivo da Barragem Faé envolveram levantamentos do eixo barrável, sangradouro, bacia hidráulica e das áreas do empréstimo de materiais de construção.

Na área escolhida para a construção do maciço da barragem foi locado, em caráter preliminar, um eixo transversal ao boqueirão em estudo. A realização deste serviço envolveu a fixação, no terreno, de piquetes espaçados a cada 20 m, através dos quais o referido eixo levantamentos foi materializado em campo.

A locação preliminar do eixo foi realizada com o objetivo de permitir, *a posteriori*, a obtenção de um posicionamento ótimo para o eixo longitudinal definitivo da barragem, já que o contorno topográfico das ombreiras existentes no local — por apresentarem algumas peculiaridades, como, por exemplo, mudanças bruscas de inclinação associadas a variações na direção da linha de cumeada — não permitiu uma definição sumária da posição do mesmo.

Em seguida, foi realizado um levantamento plani-altimétrico das áreas sobre as duas ombreiras, incluindo a determinação de seções transversais ao eixo preliminar, visando a obtenção de informações que orientassem o estabelecimento da localização definitiva do eixo da barragem em áreas de encosta.

Depois de efetuados alguns estudos de otimização, que envolveram visitas ao campo e a realização de uma análise técnico-comparativa, procedeu-se à locação definitiva do eixo da barragem, quando o mesmo foi fixado em uma posição a jusante do eixo preliminar. O eixo longitudinal da barragem foi então nivelado e contra-nivelado (da mesma forma que o anterior), enquanto seções transversais ao mesmo foram locadas e niveladas, a cada 20,0 m, no interior de uma faixa de 120,0 m de largura, definida com base no comprimento máximo da base do maciço de terra compactada.

Durante os trabalhos de nivelamento do eixo barrável, foi feito um transporte de cota da RN 2614-P (altitude 223,994 m), situada na calçada da Câmara Municipal de Quixelô, até o povoado Santo Antônio, percorrendo uma distância de 22 km.

Foram ainda realizados levantamentos plani-altimétricos em áreas adjacentes a ambas as ombreiras, com o objetivo de ensejar o estabelecimento de alternativas de locais de implantação do vertedouro (uma vez que estas áreas, aparentemente, poderiam exercer forte influência sobre os estudos de concepção do projeto). Estes levantamentos incluíram a determinação de seções transversais ao eixo barrável e da área de influência de uma sela

topográfica situada em área próxima à ombreira direita. Foi estudada, a partir deste levantamento, a viabilidade do aproveitamento desta área para a construção do vertedouro.

Com relação à área da bacia hidráulica, foi realizada, preliminarmente, uma análise de fotografias aéreas, na escala 1:40.000, da região circunvizinha ao Município de Quixelô (fornecidas pelo DNOCS — Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), com a finalidade específica de fornecer subsídios ao dimensionamento do reservatório em estudo. Foi ainda examinada a documentação cartográfica editada pela SUDENE, na escala 1:100.000, e a elaborada, em escala 1:10.000, pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), durante o Projeto de Desenvolvimento do Sistema Fundiário Nacional (Projeto Nordeste).

Após a análise cartográfica e de fotografias aéreas, foram realizados levantamentos plani-altimétricos na bacia hidráulica do futuro reservatório, os quais envolveram o estabelecimento de linhas de base e a fixação de seções transversais às mesmas.

Os resultados dos estudos plani-altimétricos desenvolvidos com vistas à elaboração do projeto compreendem cadernetas de campo, dados relativos aos serviços de apoio terrestre e desenhos na escala 1:10.000 (com curvas de nível a cada 1,0 m).

Um resumo dos quantitativos dos serviços topográficos realizados pela VBA CONSULTORES durante a elaboração do Projeto Executivo da Barragem Faé pode ser visualizado na Tabela 4.1.

O detalhamento dos serviços, ora descritos, é apresentado no Relatório dos Estudos Topográficos.

**Tabela 4.1 – Serviços Topográficos associados ao projeto da Barragem Faé**

SERVIÇOS TOPOGRÁFICOS			
ATIVIDADES	UNIDADE	QUANTIDADE	
		PREVISTA	REALIZADA
LEVANTAMENTO BACIA HIDRÁULICA	ha	1.000,0	967,17
LOC. E NÍVEL DO EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO	km	1,5	1,68
TRANSPORTE DE COTA	km	30,0	22,00
LEVANTAMENTO DE JAZIDAS	ha	100,0	50,90
SECCIONAMENTO DO EIXO E SANGRADOURO	km	15,0	3,80

#### 4.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

Em escala regional, a geologia da área em estudo está contida na faixa de Dobramentos Jaguaribeana, situada entre os maciços do Rio Piranhas, a leste, e o maciço de Tróia, a oeste. De uma maneira geral, a área apresenta-se constituindo um extenso cinturão metamórfico linear de direção predominantemente NE, algumas vezes circundando núcleos de rochas mais antigas, onde se desenvolveram extensos falhamentos transcorrentes que caracterizam um cinturão móvel. Litologicamente, a região é constituída por gnaisses

variados, incluindo lentes de meta-arcóseos, meta-anfibolitos, metabasitos, quartzitos e migmatitos homogêneos e heterogêneos. A estes litotipos acham-se associados corpos graníticos, granodioríticos, formando feições alongadas, concordando com a estruturação regional, de direção preferencial NE-SW.

Em escala local, a litologia é predominantemente formada por gnaiss migmatítico, de coloração cinza clara e granulometria de fina a média, e constituída por minerais de quartzo, feldspato e mica. O tipo observado com maior frequência é denominado gnaiss facoidal e apresenta aspecto migmatítico, sendo foliado, com granulação grosseira e com grande quantidade de porfiroblasto de feldspato. Geralmente, essa rocha faz contato transicional com gnaiss rico em mica biotita.

Maiores detalhes sobre os estudos sumariamente descritos nesta Seção podem ser encontrados no Relatório dos Estudos Geológico-geotécnicos.

### 4.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

As investigações geotécnicas de campo e de laboratório associadas à implantação da Barragem Faé tiveram como objetivo a determinação do perfil estratigráfico das áreas onde serão construídos o maciço e o vertedouro, e a obtenção de parâmetros representativos do comportamento, sob o ponto de vista de engenharia, dos diversos materiais envolvidos no projeto.

No que diz respeito às investigações geotécnicas de campo, foram executadas sondagens à percussão, rotativas e mistas, em associação com ensaios de perda d'água e de infiltração *in situ*, e sondagens à pá e picareta em diversos pontos da área. Foram retiradas, durante a execução destas sondagens, amostras de material para caracterização tátil-visual ou para análise em laboratório.

As investigações de laboratório foram realizadas sobre as amostras recolhidas nas referidas sondagens, em um processo através do qual foram avaliadas as características dos materiais em estudo relacionadas com erodibilidade, condutividade hidráulica e resistência ao cisalhamento.

Nas tabelas 4.2 e 4.3 encontram-se relacionados os estudos geotécnicos realizados durante a elaboração do Projeto Executivo, onde aparecem indicados os furos de sondagens e os ensaios realizados nos materiais da área de influência do sítio barrável. Nos desenhos BF-IV-5-02/13 e BF-IV-5-03/12 são apresentados os perfis do subsolo obtidos a partir da interpretação dos resultados das investigações geotécnicas.

#### a) Fundação da Barragem

Foram realizadas pela VBA CONSULTORES, nas áreas em torno do eixo principal da barragem, 12 sondagens à percussão, 06 sondagens mistas e foram abertos 06 poços de inspeção à pá e picareta. Nestas sondagens foram também executados diversos ensaios de infiltração (Le Franc) e de perda d'água (Lugeon), sendo ainda realizada, quando necessário, a coleta de amostras de solo para fins de caracterização ou de realização de ensaios específicos.

A Tabela 3.2, supramencionada, mostra um resumo de todo o trabalho de investigação geotécnica de campo realizado na circunvizinhança do eixo longitudinal da barragem, enquanto no Relatório dos Estudos Geológicos e Geotécnicos são apresentadas as seções do subsolo da área em estudo obtidas da interpretação dos diversos perfis individuais de sondagem analisados. Nesse mesmo relatório é apresentada uma descrição mais detalhada do trabalho de investigação que gerou a seção da Barragem Faé.

#### b) Vertedouro

Foram realizadas, durante o estudo de alternativas de implantação do vertedouro, 07 sondagens mistas e 06 sondagens à pá e picareta.

Um resumo de todo o trabalho de investigação realizado na área em que se localiza o vertedouro é apresentado na Tabela 4.4.

#### c) Materiais de Empréstimo

Com vistas à construção da Barragem Faé, foram realizados furos de sondagem a trado ou pá e picareta nas áreas de material de empréstimo.

As sondagens em solo foram executadas, na maioria dos casos, com base em pontos definidos por uma malha quadrada (espaçamento de 100 m) estabelecida por fotointerpretação básica e por inspeção visual. Para cada furo executado, foram registradas a espessura da camada de expurgo e a profundidade da camada de material utilizável na construção dos maciços, e, em alguns casos, foram coletadas amostras de solo representativas das condições de campo para a realização de ensaios de laboratório.

No caso de jazidas de material de 3ª categoria, foram retiradas amostras da rocha sã predominante nas áreas selecionadas durante o levantamento topográfico, sendo estas amostras posteriormente submetidas a ensaios de abrasão Los Angeles para a verificação de sua resistência ao desgaste.

A Tabela 4.5 apresenta uma síntese dos resultados dos estudos realizados sobre todos os materiais que serão utilizados na construção da barragem, nas quais aparecem indicados a classificação do material, o volume utilizável e a distância aproximada ao eixo da barragem. Maiores detalhes sobre ensaios e procedimentos adotados ao longo do desenvolvimento do projeto executivo são apresentados no Relatório dos Estudos Geológico-geotécnicos.



Tabela 4.3 – Ensaios *in situ*

LOCAL	Ensaio de Infiltração (LE Franc)			Ensaio de Perda d'Água (Lugeon)			
	Sondagem	Estaca	Quant. Ensaios	Sondagem	Estaca	Quant. Ensaios	
Eixo barrável	SP-03	15	1	SM-8	3 + 10,0	2	
	SP-06	11 + 10,0	1	SM-9	6 + 10,0	2	
	SP-07	14 (40 mont)	1	SM-10	10 + 10,0	2	
	SP-10	11 + 10 (40 mont)	2	SM-12	14	2	
	SM-13	11 + 10,0	1	SM-13	11 + 10,0	2	
				SM-14	17	3	
	Sub total		6			13	
Vertedouro (margem direita)							
		Sub total					
	<b>TOTAL</b>		<b>6</b>			<b>13</b>	



**Tabela 4.5 - Resumo dos Materiais de Construção  
BARRAGEM FAÉ - QUIXELÔ-CE**

Características	Jazidas de Solo		Totais	Jazida de Areia	Totais	Jazida de Pedra	Totais
	JS-01	JS-02 <sup>(1)</sup>		JA-01		JP-01 <sup>(2)</sup>	
Distância ao Eixo Barrável (km)	1,20	3,90	-	23,0	-	3,2	-
Utilização	maciço	maciço	-	filtro, concreto	-	enrocamento/ brita	-
Tipo de Material	SC, CL	SC, CL	-	areia	-	pedreira	-
Área Levantada (ha)	29,0	17,0	<b>46,0</b>	2,0	<b>2,0</b>	2,4	<b>2,4</b>
Volume Utilizável (m <sup>3</sup> )	361.000	180.000	<b>541.000</b>	40.000	<b>40.000</b>	30.000	<b>30.000</b>
Volume de Expurgo	38.000	24.000	<b>62.000</b>	-	-	-	-

(1) JS-02 - Jazida de Solo (reserva técnica)

(2) JP-01 - Jazida de Pedra (reserva técnica): deverá ser aproveitado material rochoso proveniente das escavações do vertedouro

000024

#### 4.4 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os Estudos Hidrológicos relativos ao projeto da Barragem Faé foram desenvolvidos visando atingir os seguintes objetivos :

- obter a caracterização climática da bacia;
- avaliar os deflúvios;
- determinar a dimensão ótima do reservatório e a vazão regularizada;
- dimensionar o vertedouro (c/ determinação da cheia máxima de recorrência de 1.000 anos e verificação da cheia decamilenar).

No que diz respeito à caracterização da bacia hidrográfica do açude Faé, esta apresenta uma pluviometria média anual de 777 mm, aproximadamente, sendo as precipitações normalmente concentradas no trimestre fevereiro/abril. Esta distribuição sazonal da precipitação é marcada pela ocorrência de uma estação seca bem definida (de junho a novembro), e de um curto período chuvoso nos meses de janeiro a abril. O mês de dezembro representa a transição da estação seca para a chuvosa, ao passo que no mês de maio ocorre, frequentemente, uma transição inversa, *i.e.*, da estação chuvosa para a seca.

No estudo dos deflúvios foi efetuada uma estimativa do regime fluvial do rio barrado (Riacho Faé), na qual foram avaliadas a vazão afluente e suas principais características de ocorrência. Neste estudo, foi empregado utilizado o modelo de transformação chuva x deflúvio denominado MODHAC, utilizando-se as precipitações médias calculadas com o método de Thiessen.

Quanto à determinação da dimensão ótima do reservatório e da vazão regularizada, a concepção do projeto do Açude Faé (ver curva Cota x Área x Volume na Figura 4.1) foi desenvolvida por intermédio da realização de uma série de simulações hidrológicas, nas quais foram considerados diversos níveis de acumulação no reservatório em estudo e a influência que estes níveis exerceriam sobre um pequeno açude (Açude Angicos) existente a cerca de 4,0 km a montante do novo barramento, no mesmo curso d'água. Uma vez concluídas estas simulações, os níveis de acumulação e de cheia obtidos nos estudos foram comparados, com o objetivo de se verificar a possibilidade de inundação em áreas urbanas, com as cotas mínimas observadas no Povoado de Santo Antônio, localizado a cerca de 8,5 km a montante da Barragem Faé (ver planta da bacia hidráulica no Apêndice B). Todas as simulações realizadas durante os estudos de concepção do reservatório são apresentadas na Seção 5.1.

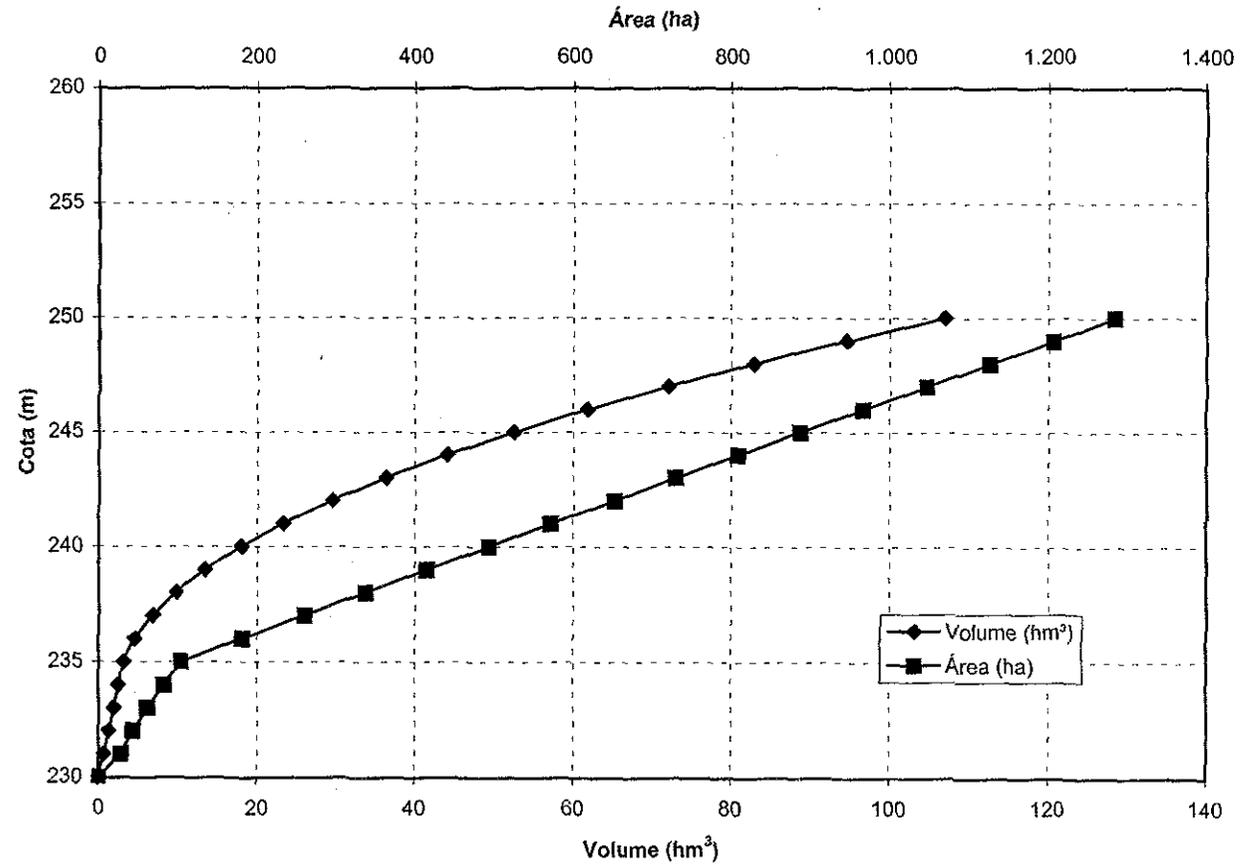
Com relação ao vertedouro, sua concepção foi efetuada tomando-se como base as seguintes premissas:

- As dimensões do canal deveriam ser estabelecidas de modo a proporcionar segurança na obra contra as cheias do sangradouro do Açude Faé (a ser construído) e do Açude Angicos (já existente);
- Os níveis de acumulação e de cheia máxima deveriam ser escolhidos de modo a evitar possíveis problemas de inundações, supracitados, no núcleo urbano do Povoado de Santo Antônio.

Cota x Área x Volume

Volume (hm <sup>3</sup> )	Área (ha)	Cota (m)
0,00	0,00	230
0,63	28,31	231
1,26	43,10	232
1,89	60,98	233
2,52	81,95	234
3,15	103,93	235
4,60	181,61	236
6,78	259,44	237
9,75	337,44	238
13,50	415,59	239
18,04	493,91	240
23,37	572,39	241
29,48	651,02	242
36,39	729,82	243
44,09	808,77	244
52,59	887,89	245
61,88	967,17	246
71,97	1.046,60	247
82,86	1.126,20	248
94,55	1.205,95	249
107,04	1.285,87	250

Figura 4.1 - Açude Faé  
Curva Cota x Área x Volume



000026

**5 - ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E OTIMIZAÇÃO DO PROJETO**

---

## 5 - ESTUDOS DE CONCEPÇÃO E DE OTIMIZAÇÃO DO PROJETO

### 5.1 - FATORES CONDICIONANTES E AS POSSÍVEIS ALTERNATIVAS

#### 5.1.1 - CONDICIONANTES HIDROLÓGICOS

Os resultados dos Estudos Hidrológicos, desenvolvidos com o objetivo de fornecer subsídios a um dimensionamento racional da barragem, estão apresentados de forma consolidada nas tabelas 5.1 e 5.2, cujos valores encontram-se representadas nas figuras 5.1 e 5.2, respectivamente.

Os estudos desenvolvidos envolveram a realização de simulações hidrológicas, nas quais foram estabelecidas as seguintes alternativas de concepção:

1. o Açude Faé seria construído com a manutenção da operação do açude Angicos (238 m < cota da soleira < 241m);
2. a construção do açude Faé seria realizada em associação à remoção do Açude Angicos ou ao rebaixamento do sangradouro deste, de modo a gerar um único espelho d'água (238 m < cota da soleira < 250 m).

Para as duas alternativas acima foram simuladas três condições de operação:

- vazão regularizada com 90 % de garantia, com volume de alerta e demanda de emergência igual à metade da vazão regularizada;
- vazão regularizada com 90 % de garantia, sem volume de alerta;
- vazão regularizada com 99,9 % de garantia, sem volume de alerta.

**Tabela 5.1 – Resultados Obtidos na “Alternativa 1” (Construção da Barragem de Faé sem a Remoção do Açude Angicos) para os Três Tipos de Operação**

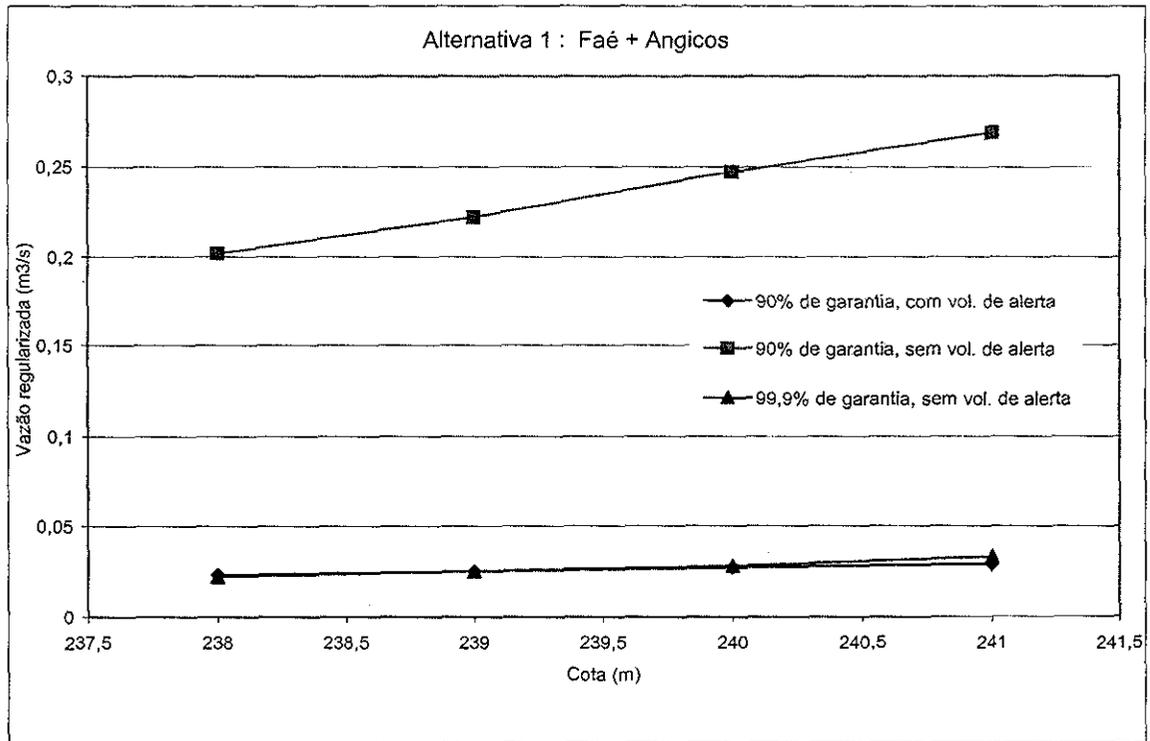
Alternativa 1 : Faé + Angicos			
Cota da soleira (m)	$Q_{90+va}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{90}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{99.9}$ (m <sup>3</sup> /s)
238	0,023	0,202	0,022
239	0,025	0,222	0,025
240	0,027	0,247	0,028
241	0,029	0,269	0,033

Tabela 5.2 – Resultados Obtidos na “Alternativa 2” (Construção da Barragem de Faé com a Remoção do Açude Angicos) para os Três Tipos de Operação

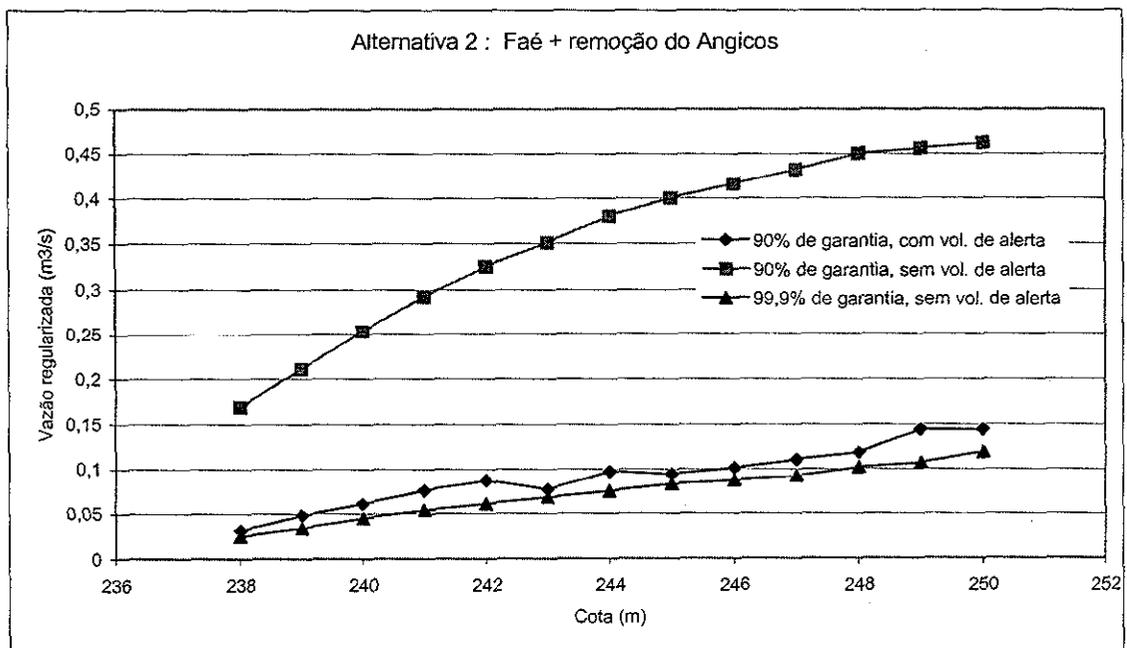
Alternativa 2 : Faé + remoção do Angicos			
Cota da soleira (m)	$Q_{99+vs}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{90}$ (m <sup>3</sup> /s)	$Q_{99,9}$ (m <sup>3</sup> /s)
238	0,031	0,169	0,025
239	0,048	0,211	0,034
240	0,061	0,253	0,045
241	0,076	0,292	0,054
242	0,087	0,325	0,061
243	0,077	0,351	0,068
244	0,097	0,380	0,075
245	0,094	0,400	0,083
246	0,101	0,416	0,087
247	0,11	0,432	0,092
248	0,118	0,450	0,102
249	0,144	0,456	0,107
250	0,144	0,462	0,119

Nas figuras 5.1 e 5.2 encontram-se plotadas curvas de regularização de vazões x cota de acumulação obtidas nas simulações hidrológicas efetuadas para as duas alternativas. Em tais curvas pode ser observado que, desconsiderando-se a influência de outros fatores condicionantes, não haveria restrições de natureza hidrológica à concepção de um reservatório com níveis de acumulação máxima até 107 hm<sup>3</sup> (vertedouro na cota 250,0 m, o que implicaria na desativação do Açude Angicos, que possui sangradouro na cota 242,5), já que as vazões regularizadas apresentam um crescimento contínuo associado ao aumento da capacidade do reservatório. Por outro lado, para volumes de acumulação superiores a 52,6 hm<sup>3</sup> (nível da soleira do vertedouro acima da cota 245), a curva da Figura 5.2 (90 % de garantia, sem volume de alerta) mostra um nítido decréscimo no incremento de vazões regularizadas à medida que o reservatório é aumentado em sua capacidade de acumulação, o que sugere uma perda de rendimento hidrológico a partir do citado ponto da curva, para o caso de serem efetuados acréscimos no volume de acumulação.

**Figura 5.1 – Resultados Obtidos na “Alternativa 1” (Construção da Barragem de Faé sem a Remoção do Açude Angicos) para os Três Tipos de Operação**



**Figura 5.2 – Resultados Obtidos na “Alternativa 2” (Construção da Barragem de Faé com a Remoção do Açude Angicos) para os Três Tipos de Operação**



### 5.1.2 - CONDICIONANTES TOPOGRÁFICOS

A seção do Boqueirão em estudo apresenta condições favoráveis à construção de um maciço com altura superior a 30,0 m.

Já com relação à topografia da bacia hidráulica, observa-se, em planta, que, embora o vertedouro tenha sido fixado na cota 241 (ver item 5.3), a poligonal de contorno asseguraria uma acumulação, sem a necessidade de barragens auxiliares, até a cota 250,0 m, o que corresponderia a uma barragem com nível de coroamento em torno da cota 254 (com cerca de 30 m de altura máxima), proporcionando a formação de um reservatório com capacidade superior a 100 hm<sup>3</sup>.

Quanto à localização do vertedouro, a presença de uma depressão em formato de sela (na linha de cumeeada) em área adjacente à ombreira direita conduziu o projeto do canal extravasor para este local. O contorno topográfico da referida depressão torna viável, técnica e economicamente, a construção de um vertedouro com largura de até 80,0 m (largura máxima admissível), já que dimensões maiores forçosamente envolveriam volumes de escavação acentuados.

### 5.1.3 - CONDICIONANTES GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

#### 5.1.3.1 - Relativos ao Tipo de Fundação

A Barragem Faé, no que diz respeito a aspectos condicionantes de Projeto, tem sua concepção diretamente associada às características geológicas-geotécnicas da fundação do boqueirão escolhido para a implantação do empreendimento.

Trata-se de um terreno aluvionar, compreendido entre duas elevações rochosas, com aproximadamente 96,0 m de largura e profundidades variando entre 2,0 e 8,0 m. O perfil estratigráfico nas áreas circunvizinhas ao leito do riacho mostra uma camada superficial de solo silto-argilo-arenoso, com espessura média de 2,50 m, sobrepondo-se a um estrato constituído por areia fina a média, com espessura de até 5,5 m. O material da camada de superfície possui coeficientes de permeabilidade oscilando entre 10<sup>-6</sup> cm/s e 10<sup>-7</sup> cm/s.

Imediatamente sob o terreno aluvionar repousa um estrato constituído por um gnaiss alterado a decomposto, que apresenta, em ensaios de infiltração ou de perda d'água nele realizados, baixa transmissibilidade hidráulica.

Com relação ao nível freático, este foi encontrado, durante a estação seca (Nov/98), em profundidades entre 1,50 m a 4,80 m.

Para se garantir a estanqueidade do reservatório, deve-se recorrer a dispositivos que evitem o estabelecimento de um regime de fluxo ou que permitam a redução do fluxo através da fundação da Barragem. A alternativa mais conveniente, sob o ponto de vista técnico e econômico, e adotada no projeto Executivo, compreende a construção de uma trincheira de vedação total conectando o maciço de terra compactada com o estrato rochoso menos permeável.

### 5.1.3.2 - Relativos à Localização e Tipo de Estrutura do Vertedouro

As investigações geotécnicas confirmaram o projeto do vertedouro para a área da sela topográfica adjacente à ombreira direita, supramencionada, com níveis de terreno natural oscilando entre as cotas 250 e 252. Neste trecho, onde a camada superficial de solo apresenta espessura média em torno de 1,50 m, foi detectada a presença de rocha com níveis de alteração adequados à fundação do sangradouro a partir (abaixo) da cota 248. Com base nestas informações, pode-se afirmar que também não haveria restrições de natureza geotécnica à construção de um vertedouro até a cota 250 (neste caso específico, seria necessária a construção de paredes de contenção laterais e de um muro com perfil tipo *Creager*).

Com relação ao tipo de estrutura do vertedouro, o perfil geotécnico do local onde o mesmo será construído sugere, para níveis de soleira abaixo da cota 245 (no Projeto Faé foi adotada a cota 241,8), a adoção de uma solução em canal de fundo plano associado somente à execução de um cordão de concreto para regularização do nível da soleira. As sondagens rotativas executadas no local sugerem ainda que, nestes casos, provavelmente será desnecessária a construção de muros de contenção laterais nas margens do canal vertedouro.

### 5.1.4 - CONDICIONANTES ASSOCIADOS À INTERFERÊNCIA EM NÚCLEOS POPULACIONAIS

A ausência de restrições de hidrológicas, topográficas ou geotécnicas para níveis de vertedouro inferiores à cota 250, intervalo considerado nas simulações aqui apresentadas, levou a um estabelecimento do nível de acumulação do Açude Faé com base em limitações relacionadas com a interferência do mesmo no núcleo urbano do Povoado de Santo Antônio. Isto significa que a dimensão do reservatório foi selecionada com base no impacto econômico e ambiental decorrente da desapropriação e do reassentamento de população, e não simplesmente em função do desempenho hidrológico ou dos aspectos topográficos ou geotécnicos da área de influência do projeto.

Em função das observações acima, a definição das dimensões do reservatório foi remetida a uma análise posterior ao dimensionamento do sangradouro e à determinação precisa da área a ser inundada, particularmente com relação ao povoado de Santo Antônio, localizado justamente na área de transição do ambiente fluvial ao ambiente límnic formado pelo reservatório.

## 5.2 – ALTERNATIVAS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

Considerando-se os fatores condicionantes gerais apresentados, procedeu-se aos estudos de concepção e otimização relativos ao projeto da Barragem Faé.

No seguimento são analisadas e discutidas as duas alternativas de dimensionamento submetidas à simulação hidrológica, conforme descrição apresentada na Seção 5.1.1, incluindo algumas variantes referentes a níveis de acumulação máxima entre as cotas 238 e 242 e larguras de sangradouro entre 50 m e 80 m. Foram estas as alternativas consideradas:

1. Implantação do Açude Faé com a manutenção da operação do açude Angicos (238 m < cota da soleira < 241m);
2. Construção do açude Faé com o rebaixamento do sangradouro do Açude Angicos, de modo a gerar um único espelho d'água (238 m < cota da soleira < 250 m).

Um resumo dos resultados obtidos nas simulações encontram-se apresentados nos itens subsequentes. Maiores detalhes sobre tais resultados e procedimentos adotados nas simulações supramencionadas podem ser encontradas no Relatório dos Estudos Hidrológicos.

### 5.3 - ANÁLISE E SELEÇÃO DAS ALTERNATIVAS

#### 5.3.1 - SIMULAÇÃO DO RESERVATÓRIO PARA DEFINIÇÃO DAS COTAS DE CHEIA MÁXIMA ADMISSÍVEIS

Na Tabela 5.3 são apresentados, para variantes das duas alternativas de dimensionamento, os resultados obtidos nos estudos de simulação da operação do reservatório. Foram determinados, nos cálculos associados a esta simulação, os níveis de cheia máxima milenar e decamilenar do Açude Faé para a verificação da possibilidade de ocorrência de inundações no Povoado de Santo Antônio.

**Tabela 5.3 – Resumo dos Resultados de Cotas de Sangria para Ambas Alternativas**

		T.R. = 1.000						
	cota / largura do vertedouro	50	55	60	65	70	75	80
Alternativa 1	241	244,36	244,26	244,18	244,10	244,02	243,95	243,88
	240	242,97	242,89	242,82	242,75	242,69	242,63	242,57
Alternativa 2	241	243,79	243,72	243,65	243,59	243,53	243,48	243,43
	242	244,63	244,57	244,51	244,45	244,40	244,35	244,31
		T.R. = 10.000						
	cota / largura do vertedouro	50	55	60	65	70	75	80
Alternativa 1	241	244,98	244,86	244,75	244,65	244,57	244,48	244,41
	240	243,48	243,39	243,31	243,23	243,17	243,10	243,04
Alternativa 2	241	244,28	244,20	244,13	244,06	244,00	243,94	243,88
	242	245,11	245,04	244,97	244,90	244,84	244,79	244,73

A tabela acima mostra os resultados obtidos para várias larguras de sangradouro, entre 50 m e 80 m (esta última corresponde à largura máxima admissível, conforme mencionado na Seção 5.1.2). Os elevados níveis de cheia, se comparados às cotas mínimas observadas no Povoado de Santo Antônio — em torno de 243,9 m, muito próxima à cota de cheia decamilenar da alternativa 2, calculada para um sangradouro na cota 241 e com 80,0 m de largura —, foram decisivos no estabelecimento da largura máxima, supracitada, para o projeto do vertedouro. Esta largura de vertedouro proporcionará como consequência, níveis de inundações mais baixos do que os associados a vertedouros com menores dimensões e maior segurança à barragem e aos moradores de Santo Antônio. A Tabela 5.4 apresenta um resumo dos resultados para as duas alternativas de dimensionamento, já considerando a construção de um vertedouro com 80 metros de largura.

Tabela 5.4 – Níveis de cheia máxima para um sangradouro de 80,0 m, considerando-se diferentes períodos de retorno

		cota	largura do sangradouro (m)	Período de retorno			
				100	500	1000	10000
Alternativa 1	Faé	238	80	240,59	241,07	241,26	241,84
		239	80	241,47	241,97	242,13	242,68
		240	80	242,36	242,81	243,00	243,53
		241	80	243,27	243,70	243,88	244,41
	Angicos	242	60	galgou	galgou	galgou	galgou
Alternativa 2	Faé	240	80	242,05	242,41	242,57	243,04
		241	80	242,94	243,28	243,43	243,88
		242	80	243,83	244,17	244,31	244,73

### 5.3.2 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A análise dos resultados constantes na Tabela 5.4, considerando sangradouro de 80,0 m e períodos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos, levou às seguintes conclusões:

1. A alternativa 1, isto é, a construção da barragem Faé com níveis de acumulação que não interfiram no espelho d'água do açude Angicos foi considerada desfavorável pelos seguintes motivos:
  - o rendimento do Açude Faé, sob esta hipótese, apresentaria valores muito baixos quando submetido a uma operação do tipo " $Q_{90}$  + volume de alerta" (entre 20-30 l/s para as diferentes cotas de soleira analisadas), inclusive insuficientes para o abastecimento de Quixelô, principal objetivo da construção do açude;
  - o Açude Angicos não apresentaria níveis de segurança apropriados, sendo constatado durante o estudo que, mesmo para a cheia de projeto de 100 anos de recorrência, haveria transbordamento do reservatório sobre o maciço de terra compactada;
  - os problemas de inundação do povoado de Santo Antônio ocorreriam com grande frequência em decorrência da dificuldade do sangradouro do açude Angicos para extravasar o volume proveniente das cheias.
2. A Alternativa 2, isto é, a construção do Açude Faé conformando um único espelho d'água e incorporando o lago do Açude Angicos mostrou as seguintes vantagens:
  - O rendimento do Açude Faé, sob esta hipótese, apresentaria valores compatíveis com as demandas de abastecimento da sede do Município de Quixelô, quando submetido a uma operação do tipo " $Q_{90}$  + volume de alerta" (entre 60 - 100 l/s para as cotas de soleira mais favoráveis);
  - O Açude Angicos seria desativado mediante o aprofundamento de seu sangradouro ou pela abertura de uma brecha em seu maciço; isto elevaria de forma considerável os níveis de segurança, pois o açude Faé seria projetado de modo tal que permitisse a passagem de uma cheia de recorrência de 10.000 anos sem galgar o corpo da barragem;

- Quanto aos problemas de inundação do povoado de Santo Antônio, principal fator condicionante para a definição das dimensões do reservatório — em virtude da ausência de restrições topográficas, geotécnicas ou hidrológicas ao dimensionamento de um açude com maior volume de acumulação — uma cuidadosa análise do contorno topográfico da região identificou que, para as condições de inundação associadas a um vertedouro com cota igual ou inferior a 241,0 m , o povoado não seria atingido pela cheia milenar e a área de preservação permanente sujeita à desapropriação não atingiria as moradias do povoado. A Figura 5.3 mostra a plani-altimetria da área do povoado de Santo Antônio, identificando a área atingida pela cota máxima da cheia milenar (243,43 m) e a área a ser desapropriada e destinada à preservação ambiental. (nível máximo + 100m na horizontal).

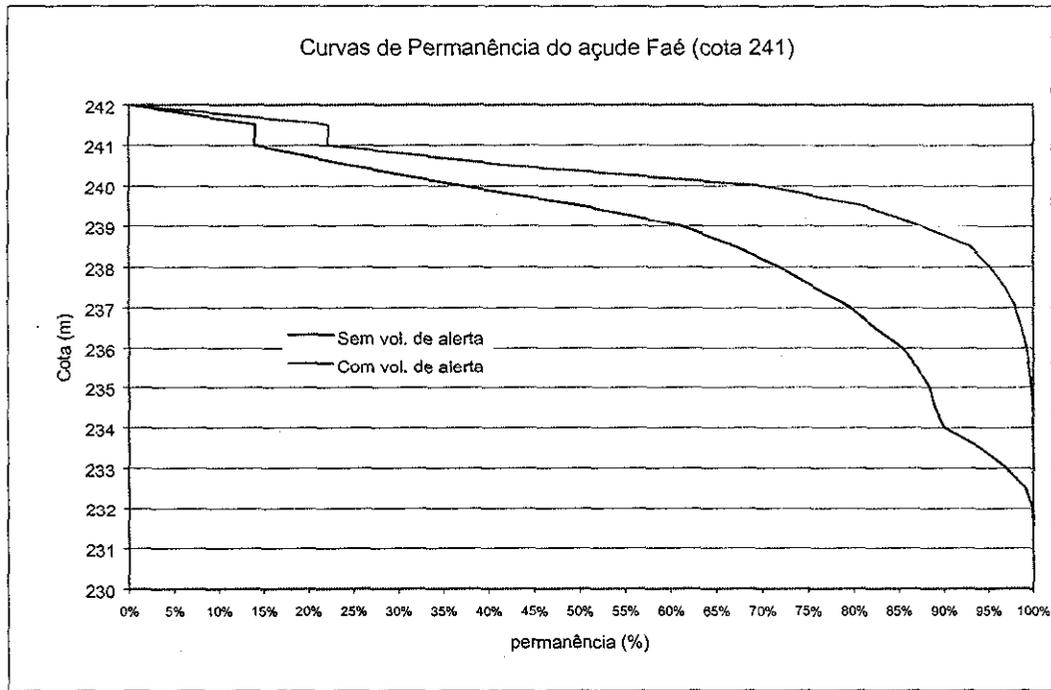
### 5.3.3 - SELEÇÃO DA ALTERNATIVA PARA DESENVOLVIMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

Tendo em vista as considerações acima, foi selecionada, conforme mencionado anteriormente, para desenvolvimento do Projeto Executivo, a Alternativa 2 supracitada, para a qual foi adotado um vertedouro com soleira na cota 241 e largura de 80 metros, levando à formação de um lago com 23,4 milhões de metros cúbicos de volume máximo armazenado. Em associação a esta Alternativa, o projeto inclui o rebaixamento do vertedouro da Barragem Angicos para a cota 241,0 (atualmente, a soleira está na cota 242,5) e o alargamento de seu canal de 60,0 para 100,0 metros, com o objetivo de se garantir a segurança da obra.

Na Figura 5.4 são apresentadas as curvas de permanência dos níveis de acumulação do Açude Faé, onde se percebe que o reservatório permanecerá, quando apropriadamente operado, com níveis superiores à cota 239 m durante 60% a 90% do tempo, o que garante a manutenção da vizinhança da fonte hídrica para o Povoado de Santo Antônio.

No Volume 5 (Plantas) são apresentados os desenhos que compõem o Projeto Executivo da Barragem Faé, nos quais são mostrados a seções transversais do maciço de terra compactada e os detalhes construtivos do empreendimento. Na Figura 5.5 é apresentado o arranjo geral das obras projetadas.

Figura 5.4 – Curvas de Permanência do Açude Faé com Soleira do Sangradouro na Cota 241 m



---

**6 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO**

---

000039

## 6 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

O conjunto de obras necessárias à implantação da Barragem Faé compreende um maciço de terra compactada com 329,0 m de extensão, 20,0 m de altura máxima e coroamento na cota 244,70; um canal vertedouro com 80,0 m de largura, na margem direita (com soleira fixada na cota 241,0), no qual é prevista a construção de um cordão de fixação para regularização do nível de acumulação do reservatório; e por uma tomada d'água tipo galeria, com conduto de 600 mm de diâmetro e controle de saída a jusante.

A distribuição espacial de todas as obras a serem construídas, proporcionando a formação de reservatório com 23,4 hm<sup>3</sup> de capacidade de acumulação máxima, bem como o detalhamento de todos os elementos constituintes do projeto podem ser visualizados no Volume 5 do Relatório Geral - Plantas. Apresenta-se, a seguir, uma descrição individual de todas as obras projetadas.

### 6.1 - MACIÇO DE TERRA COMPACTADA

O aterro compactado que proporcionará a formação do novo reservatório tem sua construção prevista para um boqueirão situado em área próxima ao Povoado de Carnaubinha (no Município de Quixelô - Ce), ocupando uma área na qual o terreno aluvionar apresenta menor largura (aproximadamente 100,0 m).

O projeto prevê a construção do aterro compactado a partir da exploração dos materiais de empréstimo provenientes da jazida de solo JS-1, da jazida de areia JA-1 (situada no Rio Jaguaribe) e utilizando-se o material rochoso proveniente da escavação do vertedouro. No caso de escassez de material construtivo durante a fase de implantação do projeto, são deixados, como reserva técnica, os volumes de material existentes nas jazidas JS-2 (solo) e JP-1 (pedra).

O detalhamento da seção-tipo da barragem, apresentada na Figura 6.1, é decorrente das características geotécnicas do terreno de fundação e da disponibilidade de materiais construtivos na região.

Com relação ao terreno de fundação, as características relacionadas com o comportamento, sob o ponto de vista de engenharia, dos solos que compõem o depósito aluvionar em estudo, bem como as profundidades do estrato rochoso e da superfície freática normalmente observadas naquele local, ensejaram a concepção de um projeto de barragem convencional, no qual prevê-se a construção de um maciço de terra compactada associado a uma trincheira de vedação (*cut-off*).

No que diz respeito à disponibilidade de materiais construtivos, as jazidas terrosas, arenosas e pétreas investigadas na região permitiram o dimensionamento de uma seção de terra homogênea com sistema de drenagem interna, enrocamento de pé a jusante e *rip-rap*.



De acordo com o dimensionamento efetuado (ver Memória de Cálculo), o sistema de drenagem interna será constituído por um filtro chaminé, com largura de 1,0 m e topo na cota 242,50 (1,50 m acima da cota de soleira do vertedouro e 0,93 m abaixo do N.A. máximo milénar), e um tapete drenante, com 1,0 m de espessura, que se estende pela região de jusante, desde o filtro chaminé até o enrocamento de pé (*rockfill*). O enrocamento de jusante, com cota de topo constante (236,70 m), será construído após a realização de uma escavação mínima de 2,5 m no terreno natural do aluvião (visando conectar o *rockfill* com a camada arenosa subjacente a estrato superficial argilosa) e possuirá, nas superfícies de contato com o aterro compactado e com o solo aluvionar, zonas de transição preenchidas por materiais com granulometria graduada (areia e brita).

Todo o sistema de drenagem, incluindo filtro chaminé, tapete drenante e *rockfill* deverá ser construído conforme detalhes apresentados no Volume 5 do Relatório Geral, utilizando-se, quando indicado, pedra ou areia limpa (menos de 5% em peso da fração granulométrica que passa na peneira 200) retiradas das jazidas de material descritas no Relatório dos Estudos Geológico-geotécnicos, de acordo com as faixas granulométricas especificadas no Volume 2 - Memória de Cálculo.

Nas áreas onde o topo rochoso abaixo do solo superficial é encontrado em níveis inferiores à cota de acumulação do reservatório (241) será escavada uma trincheira de vedação total (tipo *cut-off*), garantindo o assentamento do aterro impermeável sobre o estrato rochoso. A trincheira será preenchida com solo compactado, em procedimento que seguirá rigorosamente as especificações estabelecidas para o material areno-argiloso (ver Volume 3 do Relatório Geral).

O desenho de projeto BF-IV-5-10/13 indica a extensão lateral e a profundidade a ser alcançada pela trincheira de vedação. Durante as escavações, serão feitos os ajustes necessários de forma a atender ao seguinte critério: a trincheira deverá atravessar todas as camadas de solo ou zonas com materiais rochosos apresentando condutividade hidráulica superior a  $10^{-5}$  cm/s, de modo que a permeabilidade do terreno de fundação remanescente seja compatível com a do solo compactado.

A trincheira de vedação da Barragem Faé deverá se estender da Estaca 2 + 5,0, na ombreira esquerda, até a Estaca 17 + 5,0, na ombreira direita. A largura da trincheira varia de 4,0 m, nos trechos mais altos, até 10,0 m, nos trechos inferiores, próximos ao terreno aluvionar. Com relação às profundidades de escavação, estas variam de 0,5 m, em áreas próximas a afloramentos rochosos em terrenos de ombreira, a 8,50 m, em áreas do depósito aluvionar.

Deverá ainda ser executada uma cortina exploratória de injeções com calda de cimento, sendo a mesma constituída, inicialmente, de uma linha de injeção com furos primários, com espaçamento de 12,0 m entre cada furo. Os detalhes executivos encontram-se descritos no Volume 3 - Quantitativos e Especificações Técnicas, enquanto um esquema da distribuição das injeções é apresentado no desenho BF-IV-5-10/13, incluso no Volume 5 do Relatório Geral. Foi introduzida nas especificações técnicas, face à imprevisibilidade das condições do estrato rochoso diante da campanha de prospeções executada, uma flexibilidade decisória por parte da fiscalização que poderá ampliar ou reduzir, com base nos ensaios a serem ainda executados, as dimensões e o alcance da cortina.

Os taludes do maciço de terra foram dimensionados de modo a proporcionar segurança com relação à ruptura por cisalhamento. Neste sentido, foram realizadas diversas análises de estabilidade considerando as hipóteses clássicas de determinação do fator de segurança (final de construção, regime de operação e rebaixamento rápido), finalizando com uma verificação de estabilidade à qual foram incorporados efeitos decorrentes de um eventual abalo sísmico. Os cálculos de verificação de estabilidade acima mencionados foram realizados com o emprego do Método de Bishop (em computador) e encontram-se descritos no Volume 2 - Memória de Cálculo. Na Tabela 6.1 são apresentados os fatores de segurança críticos obtidos nos estudos de estabilidade.

Os taludes do Maciço Principal, após atenderem aos critérios de projeto relacionados com a transição tapete-barragem e, posteriormente, serem submetidos aos testes de estabilidade, ficaram assim definidos (na maior parte do aterro compactado):

- Montante: 1:2,5
- Jusante: 1:2,0 (com berma na cota 236,70)

A proteção do talude de montante será feita através de *rip-rap* (pedras jogadas), projetado para prevenir contra a ação erosiva das ondas, e será constituído de duas camadas cujas granulometrias devem satisfazer às faixas indicadas do Volume 2 - Memória de Cálculo. Já o talude de jusante terá sua proteção efetuada através da execução de uma camada de brita graduada e da implantação de um sistema de calhas para coleta de águas superficiais. As características de ambos os taludes podem ser visualizadas no Volume 5 - Plantas.

**Tabela 6.1 - Fatores de segurança críticos obtidos nas análises de estabilidade**

CONDIÇÃO DE SOLICITAÇÃO	TALUDE DE ANÁLISE	FATOR DE SEGURANÇA
Final de Construção	Montante	1,561
	Jusante	1,472
Reservatório Cheio	Jusante	1,617
Rebaixamento Rápido	Montante	1,107
Abalo sísmico c/ reservatório cheio	Jusante	1,129

Com relação ao terreno de fundação, deverá ser realizado o tratamento, limpeza e regularização da superfície rochosa da fundação do *cut-off*. Este serviço deverá ser realizado por intermédio da remoção de blocos de rocha ou de saliências na superfície da fundação, preenchimento eventual de cavidades com concreto dental, limpeza com jateamento de ar, etc., de modo a proporcionar a obtenção de taludes ou superfícies em rocha que apresentem contornos suaves.

Com o objetivo de permitir o monitoramento das pressões neutras que serão geradas em decorrência do enchimento do reservatório, deverão ser executados, após a construção do aterro, os serviços de instrumentação geotécnica associados ao projeto de implantação do barragem, que consistem na instalação de medidores de nível d'água e de piezômetros de tubo aberto (tipo Casagrande) em locais indicados pela Fiscalização.

## 6.2 - VERTEDOURO

A concepção do vertedouro da Barragem de Faé decorreu dos Estudos de Concepção apresentados no Capítulo 5, no qual foram considerados aspectos hidrológicos e geotécnicos.

O sangradouro teve sua localização definida na sela topográfica situada à margem direita do Riacho Faé, junto à ombreira direita da barragem, e seu projeto foi elaborado visando satisfazer às seguintes condições:

- permitir uma segura restituição do fluxo ao leito do rio;
- evitar um possível retorno do fluxo ao pé dos maciços;
- permitir fácil acesso ao local para inspeções e manutenção.

Foi dimensionado, com base nos resultados obtidos nos estudos supracitados, um vertedouro tipo canal, com 80 metros de largura, no qual é prevista a construção de um cordão de fixação em concreto ciclópico (com 0,80 m de largura e 1,0 m de profundidade) para regularização da superfície de acumulação do reservatório.

A soleira do vertedouro foi fixada na cota 241,0, o que proporcionará a formação de um reservatório com capacidade de acumulação máxima de 23,4 hm<sup>3</sup>.

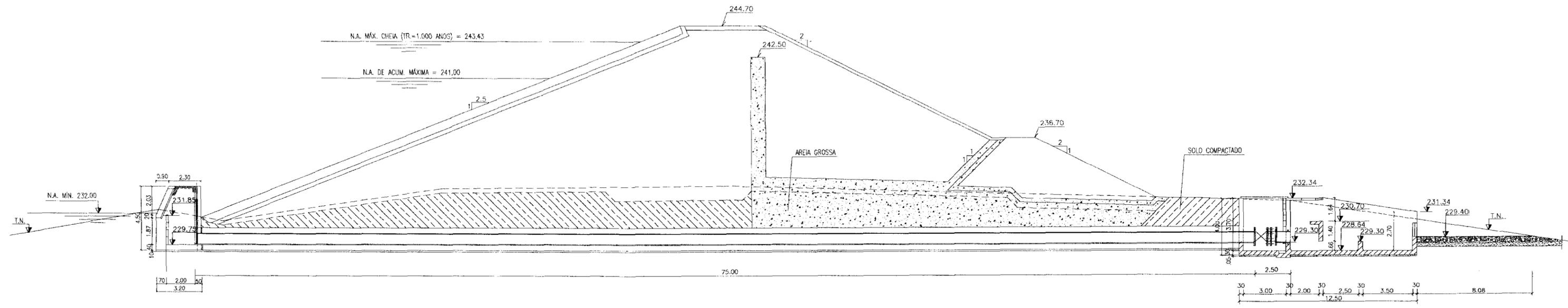
Os estudos hidrológicos indicaram uma vazão de projeto igual a 426,4 m<sup>3</sup>/2, relativa a um período de recorrência milenar.

As características do vertedouro e do cordão de fixação associado podem ser visualizadas no Volume 5 - Plantas.

## 6.3 - TOMADA D'ÁGUA

A Tomada d'Água do Açude Faé, cuja seção transversal é apresentada na Figura 6.2, constitui-se de galeria posicionada na Estaca 7 do maciço de terra compactada, com tubulação de 600 mm de diâmetro em aço carbono (calculado em função da vazão regularizada utilizando-se a fórmula do diâmetro econômico LANCASTRE, conforme apresentado no Volume 2 - Memória de Cálculo).

Este dispositivo, com nível da geratriz inferior a montante estabelecido na cota 229,80, foi dimensionado para dar vazão a uma descarga regularizada de 0,29 m<sup>3</sup>/s. O nível de água mínimo operacional do reservatório foi fixado na cota 232,0, assegurando, assim, uma submergência mínima da boca de entrada da tubulação para evitar a formação de vórtices.



TOMADA D'ÁGUA - PERFIL LONGITUDINAL (SEÇÃO 07)  
Escala: 1/200

000045

Figura 6.2  
TOMADA D'ÁGUA  
PERFIL LONGITUDINAL (EST. 07)  
ESCALA : 1/200

O controle da tomada d'água é feito a jusante, através do registro dotado de volante com redutor para evitar o rápido fechamento e a possibilidade de ocorrência de golpe de aríete.

A jusante, na saída da tubulação, foi projetada uma estrutura de dissipação do tipo "Bacia de Impacto", de acordo com o modelo padronizado apresentado na obra *Design of Small Dams*, do *Bureau of Reclamation*.

A manutenção e limpeza da grade de entrada da tomada d'água deverão ser executadas periodicamente pela Proprietária da obra, através de mergulho de inspeção por mergulhadores especializados.

Na caixa de entrada, a montante da tubulação, foi prevista uma ranhura vertical para possibilitar a vedação emergencial por meio de *stop-log*.

Para medição da vazão liberada, foi projetado um vertedor retangular sem contração lateral do tipo Bazin, com curva de vazão dada pela fórmula de REHBOCK, situado no canal de saída da tomada d'água, a jusante da bacia de impacto.

As características da Tomada D'água podem ser visualizadas nas Plantas BF-IV-5-12/13 e BF-IV-5-13/13 do Volume 5 - Plantas.

000046