

## MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM GAMELEIRA

### VOLUME 2 – ANTEPROJETO

### TOMO 1 – RELATÓRIO DE CONCEPÇÃO GERAL

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Mar/02	Apresentação – Edição Preliminar	CONSÓRCIO	FAL/EVO	NKT	NKT
a	Abr/02	Revisão seguindo recomendações da 37º reunião do Painel de Segurança	CONSÓRCIO	JRPB/WBSR	TAD	NKT

## ÍNDICE

## ÍNDICE

<a href="#"><u>APRESENTAÇÃO</u></a> .....	5
<a href="#"><u>1 - INTRODUÇÃO</u></a> .....	8
<a href="#"><u>1.1 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM GAMELEIRA</u></a> .....	9
<a href="#"><u>1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u></a> .....	11
<a href="#"><u>2 - SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS</u></a> .....	13
<a href="#"><u>2.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u></a> .....	14
<a href="#"><u>2.1.1 - Trabalhos Cartográficos</u></a> .....	14
<a href="#"><u>2.1.2 - Transportes de Coordenadas</u></a> .....	15
<a href="#"><u>2.1.3 - Transportes de Cotas</u></a> .....	17
<a href="#"><u>2.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</u></a> .....	17
<a href="#"><u>2.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica</u></a> .....	18
<a href="#"><u>2.1.6 - Levantamento dos Empréstimos</u></a> .....	20
<a href="#"><u>2.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS</u></a> .....	21
<a href="#"><u>2.2.1 - Investigação Geológica</u></a> .....	21
<a href="#"><u>2.2.2 - Investigação Geotécnica</u></a> .....	24
<a href="#"><u>2.2.3 - Estudos das Ocorrências de Materiais</u></a> .....	25
<a href="#"><u>2.3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u></a> .....	28
<a href="#"><u>2.3.1 - Caracterização da Bacia Hidrográfica</u></a> .....	28
<a href="#"><u>2.3.2 - Estudos Hidroclimatológicos</u></a> .....	32
<a href="#"><u>2.3.3 - Estudos Pluviométricos</u></a> .....	32
<a href="#"><u>2.3.4 - Chuvas Intensas</u></a> .....	33
<a href="#"><u>2.4 - ESTUDO DE CHEIAS</u></a> .....	34
<a href="#"><u>2.4.1 - Precipitação Efetiva Para Aplicação do HEC-1</u></a> .....	35
<a href="#"><u>2.4.2 - Hidrograma Unitário - SCS</u></a> .....	35
<a href="#"><u>2.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO</u></a> .....	36
<a href="#"><u>2.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO</u></a> .....	37
<a href="#"><u>2.6.1 - Análise econômica</u></a> .....	37
<a href="#"><u>2.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório - Análise hidrológico-econômica</u></a> .....	38

<a href="#">2.6.3 - Dimensionamento do Sangradouro</a> .....	39
<a href="#">2.6.4 - Estudos Adicionais</a> .....	39
<a href="#">3 - DESCRIÇÃO DO ANTEPROJETO</a> .....	41
<a href="#">3.1 - ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE LOCALIZAÇÃO DO EIXO</a> .....	42
<a href="#">3.1.1 - Considerações Finais</a> .....	44
<a href="#">3.2 - ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE MACIÇO</a> .....	44
<a href="#">3.2.1 - Critérios e Justificativa de Escolha da Alternativa de Maciço Escolhida</a> .....	48
<a href="#">3.3 - ALTERNATIVA SELECIONADA: BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA</a> .....	51
<a href="#">3.3.1 - Descrição Geral da Barragem</a> .....	51
<a href="#">3.3.2 - Definição da Geometria da Barragem</a> .....	54
<a href="#">3.3.3 - Tomada D'água</a> .....	55
<a href="#">3.3.4 - Sangradouro</a> .....	56
<a href="#">3.3.5 - Apresentação do Anteprojeto</a> .....	56

## APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

Os serviços executados pelo Consórcio JP ENGENHARIA – AGUASOLOS – ESC/TE, no âmbito do Contrato nº 005/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH/2001, assinado em 22/03/2001 com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE), tem como objeto a Elaboração dos Estudos de Viabilidade Técnica, Ambientais e Econômicas, EIAS-RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliações Financeira e Econômica, referentes às Barragens GAMELEIRA, TRAIRI, JENIPAPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Adutoras de ITAPIPOCA, TRAIRI, IPAUMIRIM/BAIXIO/UMARI e MARANGUAPE/SAPUPARA/URUCARÁ/LADEIRA GRANDE.

Os estudos desenvolvidos, em atendimento aos Termos de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em Módulos, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são os apresentados na seqüência:

### Módulo I – Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Adutoras

VOLUME I – Estudo de Alternativas e Opções para a Localização dos Eixos Barráveis e Adutoras

### Módulo II – Estudos dos Impactos no Meio Ambiente

VOLUME I – Estudos Básicos e Diagnóstico

Tomo 1 – Estudos Básicos

Tomo 2 – Diagnóstico Ambiental

VOLUME II – EIA/RIMA

Tomo 1 – Relatório Preliminar dos Estudos Ambientais

Tomo 2 – Relatório Final EIA/RIMA

### Módulo III – Projeto Executivo das Barragens

VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

**VOLUME II – Anteprojeto**

**Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral**

Tomo 2 – Plantas

## VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Especificações Técnicas

Tomo 4 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 5 – Síntese

Tomo 6 – Plantas

## Módulo IV – Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

### VOLUME I – Levantamento Cadastral

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Laudos Individuais de Avaliação

Tomo 3 – Levantamentos Topográficos

### VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico

Tomo 2 – Programação das Ações

Tomo 3 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Tomo 4 – Relatório Final do Reassentamento

## Módulo V – Projeto Executivo das Adutoras

### VOLUME I – Estudos Básicos

Tomo 1 – Levantamentos Topográficos

Tomo 2 – Investigações Geotécnicas

### VOLUME II – Anteprojeto

### VOLUME III – Detalhamento do Projeto Executivo

Tomo 1 – Memorial Descritivo

Tomo 2 – Memória de Cálculo

Tomo 3 – Quantitativos e Orçamentos

Tomo 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medição e Pagamento

Tomo 5 – Plantas

## Módulo VI – Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

### VOLUME 1 – Manuais de Operação e Manutenção

## Módulo VII – Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

### VOLUME 1 – Relatório de Avaliação Financeira e Econômica do Projeto

O presente relatório é nomeado como *Volume II – Anteprojeto, Tomo 1 – Relatório de Concepção Geral da Barragem Gameleira*, e é parte integrante do Módulo III.

## 1 - INTRODUÇÃO



## 1 - INTRODUÇÃO

Atendendo ao disposto nos Termos do Contrato N° 005-PROGERIRH/PILOTO/CE/SRH/2001 e seus correspondentes anexos, compostos do Edital de Concorrência SDP N° 05/00-PROGERIR/SRH/CE e a Proposta Técnica e de Preços, referente ao Projeto Executivo da Barragem Gameleira, no Estado do Ceará, estamos apresentando o presente relatório, descrevendo as etapas que foram empreendidas no “Módulo III” do mencionado contrato, inerentes ao Anteprojeto da Barragem Gameleira.

O objetivo deste trabalho é descrever os estudos básicos elaborados e apresentar a concepção do projeto da Barragem Gameleira. Assim sendo, o relatório aborda os seguintes tópicos:

- Localização e Acesso;
- Estudos Básicos;
  - Estudos Topográficos;
  - Estudos Geológicos;
  - Estudos Geotécnicos;
  - Estudos Hidrológicos; e
- Anteprojeto da Barragem.

As principais características da Barragem Gameleira são apresentadas na ficha técnica a seguir:

### 1.1 - FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM GAMELEIRA

#### – **Identificação**

Denominação: ..... Barragem Gameleira  
 Estado: ..... Ceará  
 Município: ..... Itapipoca  
 Coordenadas Geográficas: ..... 3°22'16,96960" S e 39°29'33,02777" W  
 Sistema: ..... Mundaú  
 Rio Barrado: ..... Rio Mundaú  
 Proprietário: ..... Estado do Ceará/SRH  
 Autor do Projeto: ..... Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE  
 Data do Projeto: ..... Abril/2002

– **Bacia Hidrográfica**

Área: .....519,77 km<sup>2</sup>  
 Precipitação média anual: ..... 1.150,50mm  
 Evaporação média anual: ..... 1.914,7 mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia Hidráulica (cota 37,00m): ..... 1.147,8 ha  
 Volume acumulado (cota 37,00 m): ..... 52,642 hm<sup>3</sup>  
 Volume afluente média anual: ..... 20,454 hm<sup>3</sup>  
 Volume morto do reservatório: ..... 0,30 hm<sup>3</sup>  
 Volume de alerta: ..... 1,41 hm<sup>3</sup>  
 Vazão regularizada: (90%): .....0,649 m<sup>3</sup>/s  
 Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos).....893 m<sup>3</sup>/s  
 Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos).....405 m<sup>3</sup>/s  
 Vazão afluente max. de projeto (TR=10.000anos).....1.186 m<sup>3</sup>/s  
 Vazão max. de projeto amortecida (TR=10.000anos).....469 m<sup>3</sup>/s  
 Nível d'água máximo normal: .....37,0 m  
 Nível d' água max. maximorum (TR=1.000anos): .....39,80 m  
 Nível d' água max. maximorum (TR=10.000anos): .....38,98 m

– **Barragem**

Tipo: .....Terra Homôgenea  
 Altura máxima: ..... 16,50 m  
 Largura do coroamento: .....6,0 m  
 Extensão pelo coroamento: .... 1.721,25 m (margem direita + margem esquerda)  
 Cota do coroamento: .....El. 41,00 m  
 Largura máxima da base: .....82,5 m  
 Talude de Montante: ..... 1,0 v: 2,5 h  
 Talude de Jusante: ..... 1,0 v: 2,0h

– **Tomada de água**

Tipo: ..... Galeria com controle a jusante  
 Número de condutos: ..... 1 (um)  
 Diâmetro: .....700 mm  
 Comprimento do conduto: ..... 84,00 m

Cota da geratriz inferior a montante:.....El. 25,15 m  
 Cota de geratriz inferior a jusante: .....El. 25,15 m  
 Localização: ..... ombreira esquerda estaca 14

### – **Vertedouro**

Tipo: ..... Perfil creager  
 Largura:..... 120 m  
 Extensão total do canal:.....235,00 m  
 Vazão máxima (Tr=10.000 anos):.....1.186 m<sup>3</sup>/s  
 Lâmina máxima Prevista (T.R=1000anos):..... 1,80 m  
 Lâmina máxima Prevista (T.R=10.000anos):..... 1,98 m  
 Borda livre:.....2,02 m

## 1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O Açude Gameleira será implantado em um boqueirão do rio Mundaú, divisa dos municípios de Itapipoca e Tururu, distando aproximadamente 16km a leste da cidade de Itapipoca e 26km a norte da cidade de Tururu.

O acesso à área da barragem Gameleira, partindo-se de Fortaleza, é feito pela BR-222 percorrendo-se cerca de 100km até a cidade de Tururu. Daí segue-se 17km no rumo norte por estrada que dá acesso ao povoado de Cemoaba e percorrendo-se cerca de mais 15km até a Fazenda Gameleira, onde se localiza o boqueirão barrável.

Outra opção de acesso é seguir pela CE-085, percorrendo-se cerca de 90km até a localidade de Tamanduá, tomando-se o entroncamento no rumo sul em direção à localidade de Cemoaba, percorrendo-se cerca de 12km até o trecho do barramento (ver Figura 1.2 a seguir).

## ***Mapa de localização 2.1 “A3”***

## 2 - SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

## 2 – SÍNTESE DOS ESTUDOS BÁSICOS

Os estudos básicos compreenderam a execução dos seguintes serviços:

- Estudos Topográficos
- Estudos Geológicos e Geotécnicos
- Estudos Hidrológicos

Os estudos básicos fazem parte do VOLUME I – Estudos Básicos e estão divididos nos seguintes tomos:

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos

Tomo 4 – Estudos Topográficos

Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

Apresenta-se a seguir a síntese dos mesmos.

### 2.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

#### 2.1.1 - Trabalhos Cartográficos

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE, na escala de 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40m. Sobre a base cartográfica foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica da barragem. Para esses estudos também foram utilizadas fotos aéreas da região e o Projeto RADAMBRASIL, na escala 1:250.000.

As cartas da SUDENE utilizadas foram as seguintes:

- Itapipoca: folha nº SA.24-Y-D-II;
- Paracuru: folha nº SA.24-Y-D-III;
- Irauçuba: folha nº SA.24-Y-D-V; e
- São Luís do Curu: folha nº SA.24-Y-D-VI

O contorno da bacia hidrográfica da Barragem Gameleira está apresentado na Figura 2.1 a seguir.

## 2.1.2 - Transportes de Coordenadas

Foram utilizados como ponto de partida, marcos geodésicos do IBGE existentes na área em estudo (Vértice Bastiões de latitude 03°17'58,5465"S e longitude 39°37'33,9045"W e o Vértice AS-24-1017 de latitude 03°10'25,2202"S e longitude 39°28'12,4563"W). Foram implantados oito marcos (M-01 a M-08) que serviram de origem para o traçado do malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas.

Os marcos implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem de partida o vértice M-04 e chegada no M-01, ambos da Barragem Trairi que tiveram como partida a RN-1852M (de cota 51,463m) e chegada RN-1852N (de cota 52,023m) do IBGE, com precisão de  $2mm\sqrt{k}$ , ver quadro 2.1 a seguir.

**Quadro 2.1 – Marcos Implantados na Barragem Gameleira**

Ponto	Localização ( <sup>1</sup> )	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Norte	Este		
Marco M-01	Km 14,63 LD	9.624.122,6611	444.817,478	39°29'48,37997"W	03°24'01,80016"S
Marco M-02 <sup>2</sup>	Km 19,19 LD	9.627.341,737	445.289,566	39°29'33,02777"W	03°22'16,96960"S
Marco M-03 <sup>3</sup>	Km 21,37 LE	9.627.246,613	445.824,548	39°29'15,69231"W	03°22'20,07636"S
Marco M-04	Km 18,24 LD	9.625.644,781	447.438,154	39°28'23,42581"W	03°23'12,27067"S
Marco M-05	Km 19,23 LE	9.622.917,904	448.279,094	39°27'56,21580"W	03°24'41,09283"S
Marco M-06	Km 19,15 LD	9.622.820,006	448.137,087	39°28'00,81952"W	03°24'44,27893"S
Marco M-07	Km 14,38 LD	9.624.134,389	444.571,648	39°29'56,34657"W	03°24'01,41408"S
Marco M-08	Km 18,38 LD	9.625.671,718	447.565,929	39°28'19,28455"W	03°23'11,39540"S

(<sup>1</sup>) A localização dos marcos teve como Km 00 a Rádio Uirapuru de Itapipoca. Para uma melhor visualização dos marcos no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos, no item 11.1, esta apresentada a Monografia dos Vértices Implantados.

(<sup>2</sup>) Este marco (M-02) está localizado na Estaca 8+16,00m do eixo da barragem.

(<sup>3</sup>) Este marco (M-03) está localizado na Estaca 36 do eixo da barragem.

As medições foram feitas com GPS (Sistema de Posicionamento Global) Trimble 4600LS, de uma frequência com duração de rastreamento de 01 hora.

No Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos, do Módulo III, encontram-se os cálculos realizados para o transporte de coordenadas, bem como os procedimentos adotados para a implantação dos marcos.

**Figura 2.1**

**Bacia Hidrográfica de Gameleira**

Arquivo: Bacia Hidrográfica Gameleira.dwg



### 2.1.3 - Transportes de Cotas

O transporte de cotas se fez com a implantação de um marco a partir da RN do IBGE mais próximo, através de poligonais de nivelamento e de contra-nivelamento levantadas com equipamentos topográficos de precisão compatíveis com os serviços, Nível Wild NAK-1.

Tomou-se como base a RN implantada na Rodovia Estruturante CE-085 (pintada no meio fio, lado esquerdo sentido Leste-Oeste à 20m da estrada carroçável que dá acesso a localidade de Córrego Fundo) com cota igual a 45,345m, transportada da RN do IBGE nº 1852T (chapa cravada no canto SE da ponte sobre o rio Trairi), perfazendo uma distância de 16,8Km do eixo da Barragem.

A poligonal de contra-nivelamento foi levantada após a execução da poligonal de nivelamento. Estas poligonais são apresentadas nas cadernetas de campo, apresentadas no Capítulo 4 – Anexo, do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

### 2.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro

O levantamento do eixo barrável foi executado com uma abrangência numa faixa de domínio de 150 metros à montante e 150 metros à jusante do referido eixo. Foram levantadas seções transversais ao eixo, com pontos cotados a cada 20 metros, de acordo com a faixa de domínio recomendada.

Os levantamentos dos eixos longitudinal e transversal do sangradouro seguiram a sistemática descrita anteriormente, sendo que as seções tiveram seus levantamentos prolongados à montante, até a cota fixada para soleira, e à jusante, até encontrarem o leito do rio. Para distâncias maiores, o levantamento até o leito do rio foi feito acompanhando o canal de sangria, através de poligonais seccionadas a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros.

Utilizando-se um Teodolito Wild T-1A, locou-se o eixo da barragem e sangradouro, os quais foram materializados a cada 20 metros por pontos estaqueados, numerados e cotados, podendo ser encontradas estacas intermediárias indicando elementos importantes, tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno, etc.

Foram instalados 5 marcos de concreto para facilitar uma futura relocação. O primeiro denominado de M0 foi implantado na estaca 0, localizado na ombreira esquerda da barragem, com cota 37,266m; o segundo, denominado de M1, na estaca 7+15m da ombreira esquerda do sangradouro, com cota 38,811m; o terceiro denominado M2 está implantado na estaca 8+16m, na ombreira esquerda do sangradouro, com cota igual a 35,754m; o quarto marco, M3, está localizado na estaca 30 do eixo da barragem, com

cota 38,234m; e por último o marco M4, que está localizado na estaca 42, na ombreira direita da barragem, com cota 39,822m.

O levantamento altimétrico da barragem Gameleira, foi realizado utilizando-se um nível Wild N-1, onde foram niveladas todas as estacas dos eixos materializados.

Esses levantamentos permitiram a confecção dos desenhos, da seção do boqueirão e do sangradouro com escala vertical 1:200 e horizontal 1:2.000, e planta com curvas de nível a cada metro na escala 1:2.000. Estes desenhos fazem parte do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

A calha do rio à jusante também foi levantada, desde o eixo barrável até o ponto onde o canal de sangria encontra o rio. As seções são a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado do eixo. Os pontos foram cotados a cada 20 metros, sendo menor este espaçamento onde o relevo ou outro fator exigiu maior nível de detalhamento.

#### **2.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica**

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Gameleira, o Consórcio firmou contrato com a empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S/A, tendo como objetivo a execução de serviços de engenharia cartográfica, compreendendo cobertura aerofotogramétrica colorida, na escala 1:15.000 e mapas digitais na escala 1:5.000 da bacia hidráulica da barragem Gameleira.

##### ➤ Cobertura Aerofotogramétrica

A cobertura aerofotogramétrica teve todos os serviços executados de acordo com as Especificações Técnicas, sendo isentos de defeitos, de falhas e de omissões.

Toda a área sobrevoada foi realizada com aeronave modelo Navajo PA31 bimotor, equipada à tomada de aerofotos e homologada para vôos aerofotogramétricos.

As fotografias foram obtidas com câmara aerofotogramétrica da marca ZEISS, modelo RMK-TOP, de última geração, dotada de mecanismo compensador do arrastamento de imagens causado pelo deslocamento da aeronave, chassis giro-estabilizado, que compensa instantaneamente as eventuais inclinações da aeronave e mecanismo automático que possibilita o registro das coordenadas do centro da foto no momento da tomada.

Foi utilizado filme aerofotogramétrico colorido de base estável, marca Kodak Aerocolor HS Film SO 846 de alto poder resolutivo e quadro com formato útil de 23 x 23 cm.

O processamento do filme e de todos os seus subprodutos foi realizado em laboratório, com condições de temperatura e umidade relativa controladas.

As cópias fotográficas foram executadas em copiadoras eletrônicas, utilizando papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram scannerizadas e montadas em faixas e estas em blocos, e, em seguida, reproduzidas em escala 4 (quatro) vezes menor que a escala original das fotos, em papel Semi Gloss, enquadradas por coordenadas geográficas, através de cruzetas desenhadas nos 4 (quatro) cantos de cada folha.

#### ➤ Mapeamento Planialtimétrico

Para o apoio básico foram implantados 08 vértices (M1 a M8), monumentalizados por marcos de concreto de formato tronco piramidal medindo 10x12x50 cm, com chapa de bronze no centro do topo e elevado a 10 cm do solo.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Gameleira tivemos na planimetria origem no Vértice Bastiões do IBGE de latitude 03°17'58,5465"S e longitude 39°37'33,9045"W e altitude de 53,65m, e chegada no Vértice SA-24-1017 do IBGE de latitude 03°10'25,2202"S e longitude 39°28'12,4563"W e altitude de 51,69m.

A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

Para a geração dos trabalhos de aerotriangulações as imagens foram obtidas a partir da scannerização dos negativos fotogramétricos na escala 1:15.000, com utilização de "scanner fotogramétrico" com capacidade de geração de imagens digitais com pixel de 28 microns.

A aerotriangulação espacial foi executada em equipamentos digitais ISM dotados de programa específico para o cálculo e ajustamento da mesma utilizando a scannerização executada.

No cálculo da aerotriangulação foi utilizado o programa PAT-B do professor Ackermann.

Para a vetorização dos elementos cartográficos: sistema hidrográfico, altimetria, referências de nível e ortofoto, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico.

Na barragem Gameleira foi restituída uma área de 15,36km<sup>2</sup>.

Todos os trabalhos seguiram as *Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional*, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

### 2.1.6 - Levantamento dos Empréstimos

Com a utilização de um teodolito Wild T-1A foram realizadas as locações e os levantamentos planialtimétricos das áreas das ocorrências de materiais que poderão ser utilizados na construção da barragem, e amarradas à poligonal do eixo barrável através de uma linha de base auxiliar (que poderá se constituir no eixo do acesso ao local da obra). Todos os poços escavados na investigação dos empréstimos foram locados, numerados e amarrados à linha de base auxiliar através de eixos de locação. Foram confeccionados desenhos individuais, em escala apropriada, com a planta baixa das áreas dos empréstimos e um desenho geral mostrando a localização de todas as ocorrências de material, de forma que possibilite a definição das distâncias de transporte. Tais desenhos e todos os dados necessários para localização e identificação dos empréstimos estão apresentados no Volume I – Estudos Básicos, *Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos*.

#### 2.1.6.1 - Jazida

Foram estudadas duas jazidas de material terroso, denominadas J 01 e J 02, que possuem as seguintes características:

- Jazida 01 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a  $130.00,00\text{m}^2$  e volume útil de  $79.300,00\text{m}^3$ , está localizada na estaca 10+10m à 10m do lado esquerdo do eixo da barragem ;
- Jazida 02 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a  $270.000,00\text{m}^2$  e volume útil de  $278.100,00\text{m}^3$ , está localizada na estaca 70+10m à 900m do lado direito do eixo da barragem.

As jazidas foram estudadas através de sondagens a pá e picareta, executadas nos vértices de uma malha de 100m x 50m, onde foram realizados 41 poços na J 01 e 70 poços na J 02.

#### 2.1.6.2 - Areal

Foi estudado 01 areal que está localizado na estaca 24 do eixo da barragem, com área de  $27.000\text{m}^2$  e um volume útil de  $40.500\text{m}^3$ .

#### 2.1.6.3 - Pedreira

A pedreira 01 de onde será extraído o material pétreo necessário a construção da barragem está localizada à 6 km do eixo da barragem e possui um volume útil de  $90.000\text{m}^3$ .

## 2.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

O objetivo principal dos estudos geológico-geotécnicos foi de caracterizar o subsolo local bem como os materiais de construção disponíveis para construção da Barragem Gameleira, definindo assim condições gerais e particulares que fornecerão subsídios para que as obras sejam executadas com o máximo de economia, eficiência e segurança. Os estudos foram divididos em duas fases, a saber: estudos geológicos e investigações geotécnicas.

Iniciou-se o estudo geológico através de informações existentes em mapas geológicos sendo estes dados complementados através de incursão à área em questão a fim de se desenvolver a identificação da estrutura geológica presente no local escolhido: tipos, ocorrência de afloramentos, extensão, arranjo, espessura e propriedades das rochas detectadas e mapeamento de possíveis falhas na rocha, no local a ser implantada a barragem.

As investigações geotécnicas proporcionaram o conhecimento do subsolo local através da execução de sondagens a percussão, denominadas SP; mistas (iniciadas a percussão e seguida de rotativa) denominadas SM e abertura de poços de inspeção a pá e picareta (SPP) com retirada de amostras. Nas sondagens mistas foram executados ensaios “in situ” para determinação de permeabilidade, seja através de ensaios “Le Franc” no caso de solo, seja ensaios de perda d’água específica no caso de rocha.

Também fez parte do escopo a identificação de jazidas de materiais de empréstimo potencialmente exploráveis que serão utilizados na execução do maciço, bem como ensaios de laboratório dos materiais de jazidas de empréstimos e das fundações.

Os estudos geológicos e geotécnicos são apresentados detalhadamente no *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos da Barragem Gameleira*.

### 2.2.1 - Investigação Geológica

Os estudos geológicos foram realizados visando fornecer dados litológicos e estruturais relacionados às feições geológicas, tendo-se adotado as seguintes etapas de trabalho:

- Levantamento bibliográfico dos principais trabalhos geológicos desenvolvidos na região;
- Interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000;
- Mapeamento geológico do eixo barrável e sangradouro através de caminhamentos ao longo do eixo topográfico locado e nas seções transversais a cada 20m, abrangendo uma faixa de 300m, sendo 150m para montante e 150m para jusante;

- Mapeamento geológico da bacia hidráulica através de reconhecimento dos locais possíveis de acesso por veículo de passeio;
- Elaboração de mapa geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala 1:2.000;
- Elaboração de mapa geológico da bacia hidráulica em escala 1:10.000.

### 2.2.1.1 - Geologia do Local da Barragem

A área estudada fica no limite entre os municípios de Itapipoca e Trairí, próximo às localidades de Gameleira e Porão, no Estado do Ceará.

O eixo topográfico locado se subdivide em três segmentos contínuos que dividem o sangradouro, a barragem propriamente dita e o dique auxiliar, ficando o sangradouro na ombreira esquerda com estaqueamento ao longo do eixo, crescendo da direita para a esquerda (Est. 0 a Est. 18); o eixo da barragem, também estaqueado a cada 20m, crescendo no sentido oposto ao do sangradouro, ou seja, da ombreira esquerda para a direita (Est. 0 = Est. 0 do sangradouro a Est. 47); o dique auxiliar tem estaqueamento a cada 20m crescendo no mesmo sentido (Est. 47 a Est. 70+10m). Ao longo do eixo foram identificadas as seguintes litologias:

#### **Sangradouro (da estaca 18 a 0)**

O terreno tem topografia plana e suavemente ondulada, com declividade mais acentuada para jusante. É recoberto superficialmente por um solo silto-arenoso de cor cinza-clara. Sobre esse solo ocorrem grandes concentrações de seixos e blocos de quartzo e sílica, bem como fragmentos de rocha formando uma extensa área de cascalheira que se estende tanto para montante como para jusante. Essa mancha faz contatos à montante e à jusante com o solo de recobrimento das rochas cristalinas subjacentes, conforme indicado no mapa geológico do eixo. Na seção transversal da estaca 11, a 165m à jusante ocorrem, no leito de uma grota, muitos seixos e blocos angulosos de quartzo e fragmentos de rocha, bem como alguns afloramentos de gnaisse muito alterados e intensamente fraturados com minerais bem orientados de quartzo, feldspato e mica (biotita e muscovita). Também na seção da estaca 1 + 10m, 140m à jusante, no leito da estrada, ocorre um pequeno afloramento, a nível superficial, de gnaisse muito alterado, intensamente fraturado, de cor cinza clara e tons amarelados decorrentes da alteração, de granulação fina, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita, cuja atitude de foliação, devido a condição do afloramento não foi possível medir.

#### **Barragem**

##### **• Da estaca 0 a 14**

Entre a estaca 0 e a estaca 10 ocorrem alguns afloramentos superficiais de quartzito de cor cinza clara, com tons rosados e avermelhados, alterado, muito fraturado,

exibindo acamamento com atitude segundo  $N64^{\circ}Az/50^{\circ}$  SE. A partir daí a superfície do terreno é recoberta por seixos e blocos de quartzo, sílica e quartzito e fragmentos de rocha, constituindo um corpo mais ou menos elipsoidal que se estende de montante a jusante formando uma elevação com declividades para montante e para jusante de forma que o eixo locado coincide com a crista que se desenvolve segundo a direção NE-SW. Entre as estacas 10 e 14 numa área que se desenvolve numa extensão aproximada desde 30m para montante até 70m para jusante do eixo, ocorrem grandes afloramentos em forma de blocos e matacões de quartzito, soltos e dispersos caoticamente. A rocha tem cor clara, branco-leitosa, com textura maciça e muito raramente acamadada.

- ***Da estaca 14 a 24***

A partir da estaca 14 a topografia se suaviza e o terreno aplainado é constituído por um solo silto-arenoso com pedregulhos, de cor cinza clara, proveniente da desagregação da rocha subjacente e fazendo contato com a aluvião na estaca 16 (eixo) que se estende pela margem esquerda até a calha do rio Mundaú onde o eixo da barragem o intercepta, na estaca 24. Na estaca 22 + 10m, 35m à montante, no leito de uma grota que contribui para o rio Mundaú, ocorre um afloramento de gnaiss milonítico, muito fraturado, muito alterado, de cor cinza clara com tons rosados e amarelados pela alteração, de granulação fina a média, contendo fenoblastos de feldspato, além de quartzo e biotita.

- ***Da estaca 24 a 25***

Nesse trecho o eixo projetado, intercepta o leito do rio Mundaú que corria com muita água corrente, devido às chuvas ocorridas neste período. Na margem direita do rio, coincidindo com a estaca 24 + 10m, numa faixa compreendida entre 30 a 100 metros à jusante do eixo ocorrem afloramentos de milonito, que possui cor cinza clara a rosa, granulação fina a média, intensamente fraturado, com minerais orientados e foliação bem definida, cuja atitude é  $N28^{\circ}Az/25^{\circ}SE$ . O curso do rio nesse ponto corre no sentido SE-NW, ou seja, a direção NE-SW da foliação da rocha está no sentido quase perpendicular ao fluxo do rio, mergulhando para SE, no sentido oposto a esse fluxo, portanto evidenciando uma situação favorável do posicionamento do eixo da barragem com relação ao sentido preferencial de percolação. Entre a estaca 24 + 10m e a estaca 25 ocorre uma faixa de aluvião que se desenvolve pela margem direita, de forma mais discreta do que o verificado pela margem esquerda.

- ***Da estaca 25 a 47***

Ao longo da estaca 25 + 10m, de montante a jusante, tem-se o contato da aluvião com o solo de recobrimento do embasamento cristalino, em que a rocha do substrato é constituída de gnaiss cataclasado e milonitizado, evidenciado pela presença de grande quantidade de fragmentos de rocha com essas características, espalhados pela superfície

do terreno, ocorrendo com mais intensidade na faixa entre as estacas 25 + 10m e 28, onde esses fragmentos de rocha apresentam cor rosada, granulação fina a média, intensamente fraturados, com fenocristais de feldspatos em forma de augens.

### **Dique Auxiliar de Fechamento (da estaca 47 a 70+10m)**

Em toda essa extensão a topografia do terreno é plana e suave e o solo superficial é silto-arenoso, com pedregulhos, de cor cinza clara, de granulação fina a média. Em algumas áreas a superfície do terreno é recoberta por seixos angulosos de quartzo e fragmentos de rocha (quartzito e milonito).

São apresentados no Capítulo 5 – Anexos, do Volume 1 – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos da Barragem Gameleira, o Mapa Geológico do local da Barragem e Sangradouro, contendo as unidades litológicas identificadas e os principais afloramentos de rocha que foram mapeados, bem como o Mapa Geológico contendo as unidades litológicas na área da Bacia Hidráulica.

#### **2.2.2 - Investigação Geotécnica**

Os estudos geotécnicos constaram de investigações de subsuperfície, através de sondagens à pá e picareta, percussivas e mistas. Constaram ainda de ensaios de infiltração (Le Franc) e perda d'água (Lugeon), como também a caracterização em laboratório dos materiais terrosos, granulares e pétreos a serem utilizados na construção da barragem.

Nestas investigações procurou-se identificar as características do pacote aluvionar, quanto ao aspecto hidráulico e de suporte, através das sondagens à percussão e ensaios de infiltração, caracterizar a camada de solo e/ou alteração de rocha, as características das rochas gnaissicas sob o aspecto geomecânico e de condutividade hidráulica através das sondagens rotativas e ensaios de perda d'água. As áreas de empréstimos dos materiais terrosos e granulares foram pesquisadas através de poços de inspeção.

As sondagens mecânicas realizadas na Barragem Gameleira foram realizadas no eixo barrável e no sangradouro, as quais estão relacionadas na Quadro 2.2. No desenho N° II-1-02/27-001, do Tomo 2 do Anteprojeto é apresentada a planta de locação dos furos de sondagem.

<b>Quadro 2.2 - Sondagem à Percussão e Mista – Barragem e Sangradouro</b>		
<b>SONDAGEM N°</b>	<b>ESTACA</b>	<b>LOCAL</b>
<b>SANGRADOURO</b>		
SM-01	6+00	50m para montante
SM-02	6+00	Eixo



**Quadro 2.2 - Sondagem à Percussão e Mista – Barragem e Sangradouro**

SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SM-03	6+00	50m para jusante
SM-04	5+00	50m para montante
SM-05	5+00	Eixo
SM-06	5+00	50m para jusante
SM-07	1+00	50m para montante
SM-08	1+00	Eixo
SM-09	1+00	50m para jusante
<b>BARRAGEM</b>		
SM-10	14+00	eixo
SM-11	19+00	eixo
SM-12	24+00	eixo
SM-13	26+00	eixo
SM-14	30+0,00	eixo
SP-15	14+0,00	50m a montante
SP-16	14+0,00	50m a jusante
SP-17	18+10,00	50m a montante
SP-18	18+10,00	50m a jusante
SP-19	24+0,00	50m a montante
SP-20	24,0,00	50m a jusante
SP-21	26+0,00	50m a montante
SP-22	26+0,00	50m a jusante
SP-23	30+0,00	50m a montante
SP-24	30+0,00	50m a jusante
SP-25	16+0,00	eixo
SP-26	20+10,00	eixo

Os resultados da investigação geotécnica bem como a locação das sondagens, os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, são apresentados no *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos - Capítulo 5 – Anexos da Barragem Gameleira*.

### 2.2.3 - Estudos das Ocorrências de Materiais

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas duas jazidas de solos, denominadas de J-01 e J-02, um areal denominado de A-01 e uma pedra, denominada de P-01.

### 2.2.3.1 - Jazidas Terrosas

Foram identificadas duas jazidas de material terroso para a construção da barragem, denominadas de J-01 e J-02. No desenho N° II-1-05/27-001 do Tomo 2 do Anteprojeto são apresentadas as localizações das jazidas.

No Quadro 2.3 a seguir, são apresentadas as características de cada jazida.

Quadro 2.3 - Característica das Jazidas		
CARACTERÍSTICA	JAZIDA	
	J-01	J-02
ÁREA (m <sup>2</sup> )	130.000	270.000
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	79.300	278.100
VEGETAÇÃO	Densa	Densa
PROPRIEDADE	-	Manoel Matias Braga/José Chagas
ESPESSURA MÉDIA DE	0,10	0,43
QUANTIDADE DE FUROS	41	70
MALHA (m)	100 x 50	100 x 50

Nas jazidas de solo foram implantados furos abertos a pá e picareta nos vértices de uma malha de 100m x 50m. Desses furos, foram coletadas amostras, as quais foram enviadas ao laboratório e submetidas a ensaios geotécnicos.

Os ensaios de laboratório executados nas amostras de solo, de forma a caracterizar o comportamento geotécnico dos mesmos foram os seguintes:

- Granulometria por Peneiramento e Sedimentação.
- Limites de Atterberg
- Umidade e peso específico natural
- Permeabilidade (carga variável)
- Compactação – Proctor Normal
- Ensaios de cisalhamento direto lento

No Quadro 2.4 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

**Quadro 2.4 - Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Jazidas**

JAZIDA	GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)							PLASTICIDADE		USC	COMPACTAÇÃO	
	2''	1''	3/8''	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		hot	γ <sub>máx</sub>
J-01	100	97	95	95	88	67	36	30	9	SC	14,2	1,830
J-02	100	100	100	100	96	65	23	29	8	SC	12,6	1,880

As amostras também foram submetidas a ensaios de cisalhamento direto, cujos resultados receberam tratamento estatístico e resultaram em valores apresentados no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 - Ensaio de Cisalhamento Direto		
Parâmetro	JT1	JT2
C (Kgf/cm <sup>2</sup> )	0,18	0,17
φ (°)	34,8°	34,4°

Com relação aos ensaios de permeabilidade com carga variável, encontrou-se valores médios de  $k = 8,18 \times 10^{-7}$  cm/s para a J-01 e de  $k = 7,15 \times 10^{-7}$  cm/s para J-02.

### 2.2.3.2 - Areal

Foi identificado um areal para a construção da barragem, denominado de A-01. No desenho N° II-1-05/27-001 do Tomo 2 do Anteprojeto é apresentada a localização do areal.

No Quadro 2.6 são apresentadas as características do areal.

Quadro 2.6 - Características do Areal	
Característica	Areal A-01
ÁREA (m <sup>2</sup> )	130.000
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	79.300

Para o areal foi realizada a seguinte campanha de ensaios de laboratório:

- Granulometria por Peneiramento
- Permeabilidade com carga constante

No Quadro 2.7 são resumidos os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro 2.7 - Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Areal												
Granulometria (% que passa)											D <sub>máx</sub>	M.F
2''	1''	3/4''	1/2''	3/8''	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100		
100	100	100	100	100	96	85	63	28	6	1	4,8	3,50

Com relação aos ensaios de permeabilidade com carga constante, encontrou-se valores médios de  $k = 7,43 \times 10^{-3}$  cm/s.

### 2.2.3.3 - Pedreira

Foi identificada uma pedreira para a construção da barragem, denominada de P-01, de exploração comercial, localizada a 6,00 km de distância do eixo da barragem. No desenho N° II-1-05/27-001 do Tomo 2 do Anteprojeto é apresentada a localização da pedreira.

No Quadro 2.8 são apresentadas as características da pedreira.

Quadro 2.8 - Características da Pedreira	
Característica	Pedreira P-01
ÁREA (m <sup>2</sup> )	30.000
VOLUME ÚTIL (m <sup>3</sup> )	90.000
PROPRIETÁRIO	João Mesquita Texeira
EXPLORAÇÃO	Comercial

Para a pedreira foi realizada a seguinte campanha de ensaios de laboratório:

- Desgaste de Agregado por Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35-64)

O Quadro 2.9 apresenta-se o valor obtido nos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro 2.9 - Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Pedreira
Los Angeles
30%

## 2.3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos realizados tiveram como objetivo o conhecimento dos fenômenos hidroclimatológicos da bacia hidrográfica e que são diretamente relacionados com o processo de regularização de vazões.

Os estudos hidrológicos são apresentados detalhadamente no *Volume I – Estudos Básicos, Tomo 2 – Estudos Hidrológicos*. Apresenta-se a seguir, um resumo dos mesmos.

### 2.3.1 - Caracterização da Bacia Hidrográfica

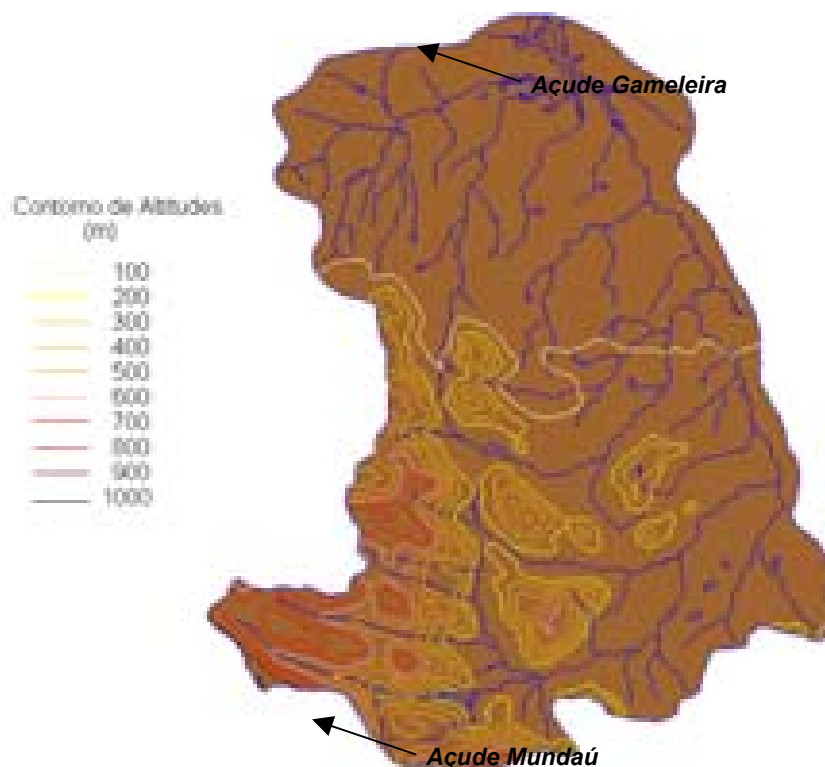
O açude Gameleira barra o rio Mundaú nas coordenadas UTM N 962.728,52 e E 445.588,87. A barragem situa-se na divisa dos municípios de Itapipoca e Tururu, distando aproximadamente 16km a leste da cidade de Itapipoca e 26km a norte da cidade

de Tururu. O quadro a seguir apresenta um resumo dos dados característicos da bacia em estudo.

**Quadro 2.10 – Caracterização da Bacia**

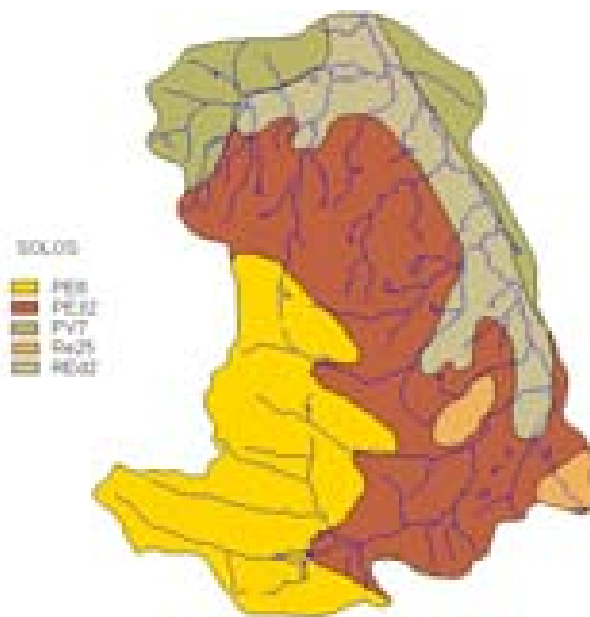
Área da bacia do Açude Gameleira	519,77 km <sup>2</sup>
Perímetro da bacia do Açude Gameleira	113,00 km
Declividade média da bacia do Açude Gameleira	3,29 m/km
Comprimento do rio principal	59,00 km
Fator de compacidade	1,40
Fator de forma	0,15
Tempo de concentração	12,03 hrs

A Figura 2.3 mostra a altimetria da bacia hidrográfica do Açude Gameleira. Na mesma figura é possível visualizar a bacia hidráulica do Açude Mundaú a montante do Açude Gameleira, com um volume aproximado de 21,38 hm<sup>3</sup>.

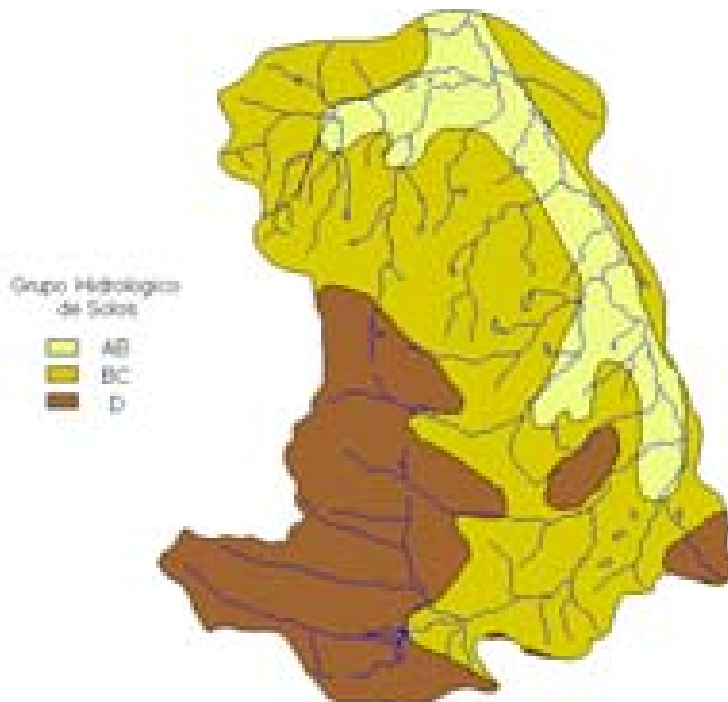


**Figura 2.3. Bacia do Açude Gameleira**

A bacia do Açude Gameleira tem solos Podzólico Vermelho Amarelo e Regosol Distrófico (PE6, PE32 e Red32, respectivamente, (ver Figura 2.4) predominantemente, o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com moderada a elevada capacidade de drenagem (Figura 2.5). A vegetação predominante é a Floresta Subcaducifólia e uma faixa de transição para o complexo vegetacional da zona litorânea composta de Caatinga Arbustiva Densa (Figura 2.6). O principal uso é a agricultura de culturas anuais, temporárias e permanentes (Figura 2.7).



**Figura 2.4. Solos da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).**



**Figura 2.5. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).**



**Figura 2.6. Vegetação da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).**



**Figura 2.7. Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).**

### 2.3.2 - Estudos Hidroclimatológicos

O rio Mundaú nasce na Serra de Uburetama e tem foz no Oceano Atlântico drenando uma área de 519,77 km<sup>2</sup>. Não existe nenhuma estação hidroclimatológica nos domínios da bacia do rio Mundaú, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Sobral, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991). As normais climatológicas aqui apresentadas são referentes aos dados coletados pelo INEMET entre o período 1969-1989.

O Quadro 2.11, a seguir, apresenta uma síntese dos indicadores do clima da bacia em estudo.

**Quadro 2.11 – Resumo dos Indicadores Climáticos**

Pluviometria média anual	1150,5 mm
Evaporação média anual – Tanque Classe A	1914,7 mm
Evapotranspiração potencial (Hargreaves)	1853,8 mm
Insolação média anual	2416,6 h
Umidade relativa média anual	67,9 %
Temperatura média anual: média das máximas	33,3 oC
Temperatura média anual: média das médias	26,6 oC
Temperatura média anual: média das mínimas	22,0 oC
Classificação climática segundo Köppen	BWx'
Classificação climática segundo Thornthwaite	C1SA'a'

### 2.3.3 - Estudos Pluviométricos

A série pluviométrica bruta utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Vetor Regional (HIEZ, 1978), destinado à identificação de inconsistências nas séries histórica (PERH, 1990). Estas inconsistências podem ser originadas por erros de observação, podendo tais erros ocorrer sistematicamente ou isoladamente em um certo período.

Quatro postos foram utilizados neste estudo, os mais próximos da área de interesse, bacia do açude Gameleira, que possui uma área de 519,77 km<sup>2</sup>, além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo.

O Quadro 2.12 mostra os postos pluviométricos que foram utilizados neste estudo e que compõem os grupos regionais PARACURU e URUBURETAMA. Foram utilizados dados até 1988, pois estes foram consistidos por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992).



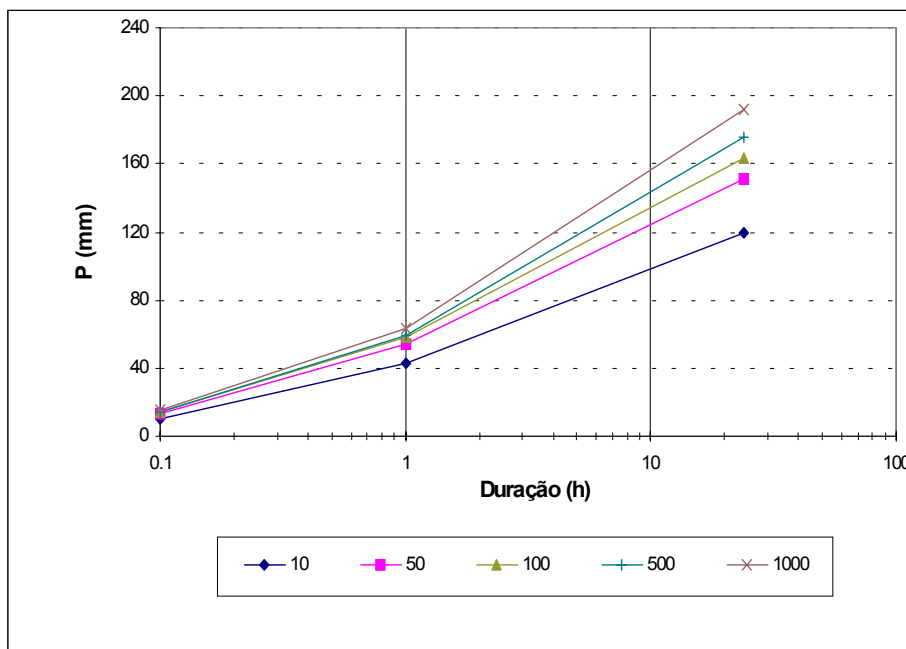
**Quadro 2.12 - Postos utilizados consistidos pelo método do Vetor Regional**

Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
<b>GRUPO: PARACURU</b>					
Cemoaba	2861917	1964 -1988	03°27'	39°25'	80
<b>GRUPO: URUBURETAMA</b>					
Itapipoca	2870084	1939 -1988	03°30'	39°35'	98
Aç. Rajada	2871109	1976 -1988	03°35'	39°28'	----
Uruburetama	2871202	1944 -1988	03°37'	39°30'	330

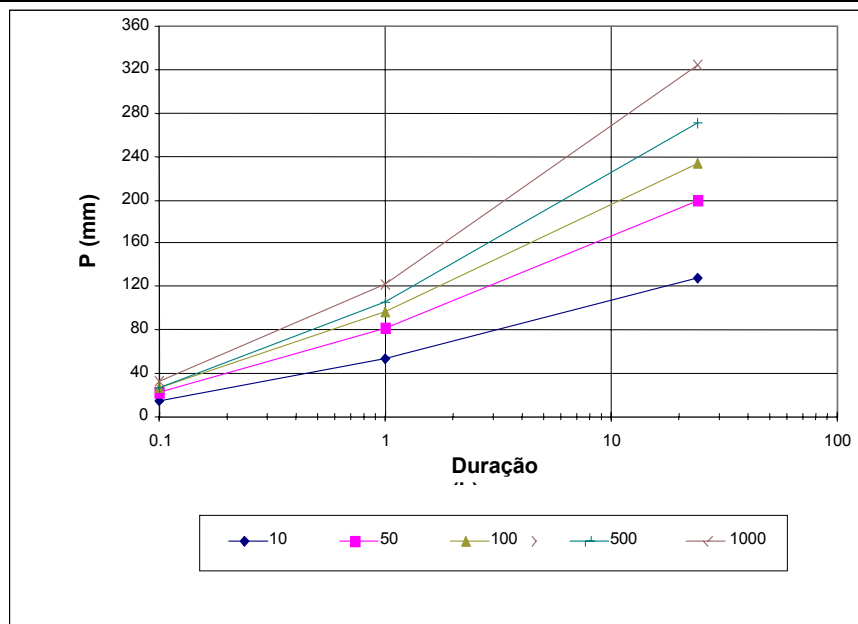
Fonte: PERH-CE (1990)

### 2.3.4 - Chuvas Intensas

Dada a inexistência de pluviógrafos instalados na área em estudo, os dados de precipitações foram obtidos através de pluviômetros, com registro da precipitação máxima de 1 dia. A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de menos duração foi feita através do Método das Isozonas. A figura 2.8 mostra as curvas intensidade – duração – frequência de chuva para diferente tempos de retornos.



**(a) Itapipoca (2860084)**



(b) Uruburetama (2871202)

Figura 2.8 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência (Pontual): postos (a) Itaipoca e (b) Uruburetama.

## 2.4 - ESTUDO DE CHEIAS

A determinação da cheia de projeto para o dimensionamento do sangradouro foi realizada com base nos dados de precipitação (métodos indiretos), diante da inexistência de registros pluviométricos para a bacia, as relações chuva-deflúvio para a bacia do rio Mundaú foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, sendo estudada a sua resposta aos hietogramas de projeto correspondentes a 1.000 e a 10.000 anos (Tr = tempo de retorno).

O Quadro 2.13 apresenta a chuva pontual e com a aplicação do fator redutor de área correspondente, às curvas i-d-f. A partir das curvas de chuva reduzida, foi obtida a precipitação associada aos tempos de retorno de 1000 e 10000 anos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h.

Quadro 2.13 - Valores Reduzidos de Chuva (mm) de 24 horas

Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
<b>Chuva Reduzida – Itaipoca (2860084): Trecho Gameleira-Mundaú</b>								
P(mm) – TR 100	8,8	24,1	43,4	60,5	70,4	87,5	104,5	121,6
P(mm) – TR 500	9,7	26,8	48,3	68,9	80,9	101,5	122,1	142,7
P(mm) – TR 1000	10,3	27,8	49,9	72,1	85,1	107,3	129,5	151,7
P(mm) – TR 10000	13,6	36,6	65,6	90,9	105,6	130,8	156,1	181,3
<b>Chuva Reduzida – Uruburetama (2871202): Bacia do Mundaú</b>								
P(mm) – TR 100	21,1	53,0	93,2	122,2	139,2	168,2	197,2	226,2
P(mm) – TR 500	26,1	68,7	122,4	164,1	188,5	230,3	272,0	313,8
P(mm) – TR 1000	29,6	75,7	133,7	182,1	210,4	258,9	307,3	355,7
P(mm) – TR 10000	37,7	101,4	181,9	251,8	292,7	362,6	432,5	502,4

### 2.4.1 - Precipitação Efetiva Para Aplicação do HEC-1

A chuva efetiva foi calculada com a utilização do método Curva Número do Soil Conservation Service. Trata-se de um procedimento desenvolvido pelo Serviço de conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada, ou seja, a chuva efetiva é uma fração da altura total da chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea; e (4) condições de umidade antecedente. Para a bacia do rio Mundaú foi adotado um CN = 75 com base nos mapas de solos (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

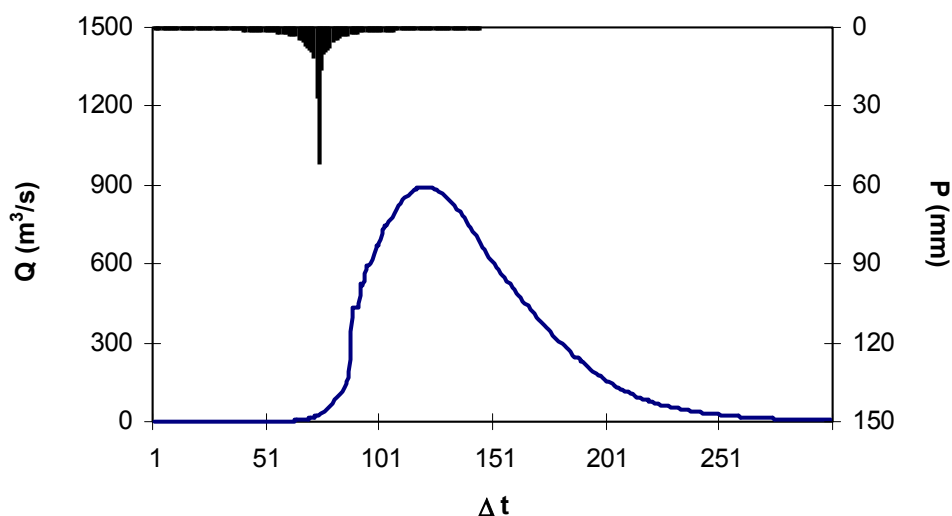
### 2.4.2 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do Hidrograma Unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. No Quadro 2.14 a seguir estão indicados os dados dos hidrogramas de cheias milanar e decamilenar.

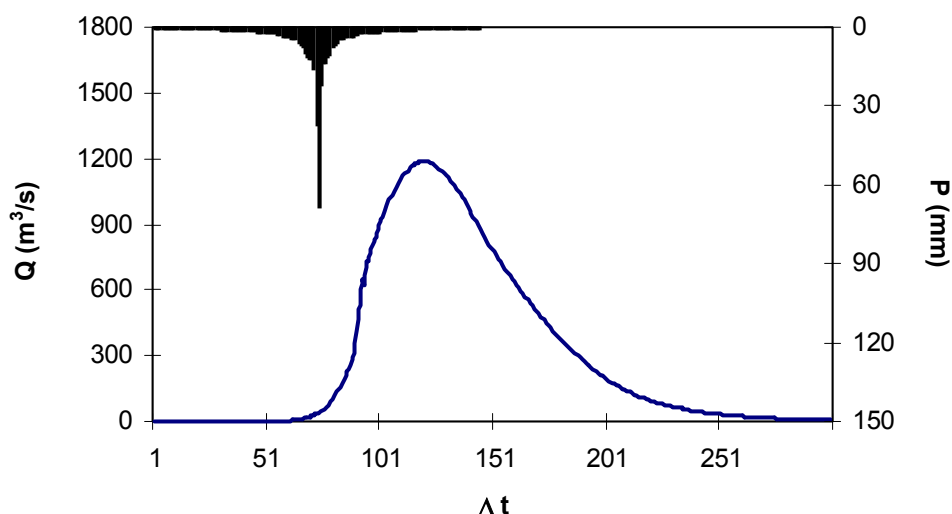
**Quadro 2.14**

Cheia	$\Delta t$ (minutos)	Chuva Total	Perdas (mm)	Chuva efetiva
1.000	10	138,88	64,57	74,31
10.000	10	165,97	68,30	97,68

As Figuras 2.9 e 2.10 apresentam os hietogramas de projeto (precipitação total) e os hidrogramas afluentes à barragem Gameleira obtidos através do uso do modelo HEC-1 correspondentes aos tempos de retorno 1.000 e 10.000 anos, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma foi 893 m<sup>3</sup>/s para o período de retorno de 1.000 anos, e 1186 m<sup>3</sup>/s para o período de retorno de 10.000 anos.



**Figura 2.9 - Hidrograma total afluente - Bacia 519.77 km<sup>2</sup> (Tr = 1.000 anos).**



**Figura 2.10 - Hidrograma total afluente - Bacia 519.77 km<sup>2</sup> (Tr = 10.000 anos).**

### 2.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foram utilizados dois métodos, a saber:

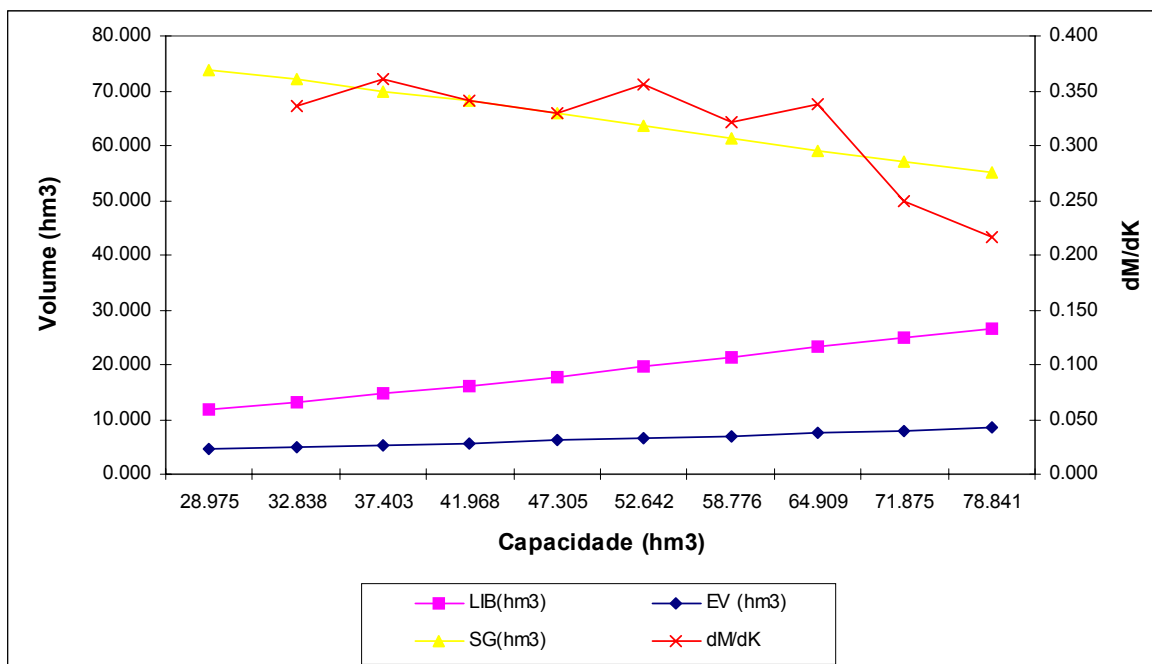
1. Solução direta da equação de balanço hídrico;
2. Diagrama Triangular de Regularização – sem influência do açude de montante.

No Quadro 2.15 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de  $f_K$  (fator de capacidade =  $K/\mu$ ) para o açude Gameleira. A Figura 2.11 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Gameleira, que nada mais é que a graficação dos valores apresentados no Quadro 2.15.

**Quadro 2.15 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Gameleira**

Cota (m)	K (hm <sup>3</sup> )	fk=K/μ	%LIB	LIB (hm <sup>3</sup> /ano)	%EV	EV (hm <sup>3</sup> /ano)	%SG	SG (hm <sup>3</sup> /ano)	dM/dK	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	M90 (hm <sup>3</sup> /ano)
34,5	28,975	0,32	13,18	11,857	4,94	4,440	81,88	73,661	-----	0,390	12,291
35,0	32,838	0,37	14,59	13,122	5,38	4,842	80,03	71,991	0,337	0,431	13,592
35,5	37,403	0,42	16,32	14,678	5,86	5,274	77,82	69,981	0,361	0,483	15,239
36,0	41,968	0,47	17,98	16,174	6,32	5,688	75,69	68,079	0,340	0,532	16,792
36,5	47,305	0,53	19,85	17,848	6,84	6,151	73,32	65,935	0,330	0,588	18,552
37,0	52,642	0,59	21,83	19,627	7,30	6,564	70,88	63,739	0,356	0,649	20,454
37,5	58,776	0,65	23,86	21,450	7,82	7,032	68,32	61,428	0,321	0,711	22,421
38,0	64,909	0,72	25,97	23,354	8,28	7,449	65,74	59,116	0,338	0,777	24,497
38,5	71,875	0,80	27,76	24,960	8,86	7,966	63,38	56,977	0,249	0,832	26,230
39,0	78,841	0,88	29,37	26,404	9,42	8,473	61,21	55,040	0,217	0,880	27,741

A análise da Figura 2.11 e dos dados apresentados no Quadro 2.15 sugere a escolha do volume em torno de 52,642 hm<sup>3</sup>, pelas condições físicas do local, correspondente a cota de 37 m. Para esta capacidade o reservatório regulariza 21,83% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 20,454 hm<sup>3</sup>/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,649 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 2.11 - Curvas de Regulação do Reservatório Gameleira – Resolução direta da equação do balanço hídrico.**

## 2.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

O item anterior demonstrou que faixa de volumes estudada está bem aquém da hidrologicamente possível, fato este refletido pelo baixo fator de capacidade ( $f_K < 0,88$ ). Entretanto, a topografia do eixo barrável impede a análise para maiores fatores de capacidade, o que nos leva a escolha do volume em torno de 52,6 hm<sup>3</sup> ( $f_K = 0,61$ ) pelas condições físicas do local, correspondente a cota de 37 m.

### 2.6.1 - Análise econômica

Para facilitar a escolha da capacidade da barragem foi elaborado um gráfico contendo as seguintes informações:

- variação do custo anual do m<sup>3</sup> de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos à uma taxa de 8%;
- variação do custo anual do m<sup>3</sup> de água regularizada com 90% de garantia em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos à uma taxa de 8%;

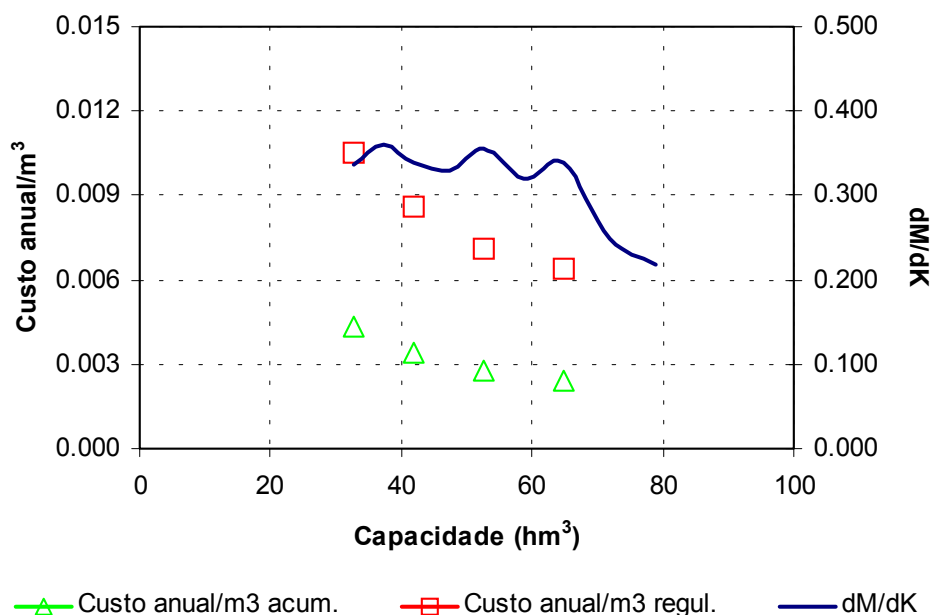
- variação do ganho em unidades de volume regularizado por unidade de volume acrescido na capacidade do reservatório (dM/dK);

A análise dos resultados da Figura 2.12 mostra que:

- o custo anual do m<sup>3</sup> regularizado variou entre R\$ 0,010 (cota 35 m) e R\$ 0,0006 (cota 38 m).
- o custo anual do m<sup>3</sup> de acumulação variou entre R\$ 0,004 (cota 35 m) e R\$ 0,002 (cota 38 m).

### 2.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório – Análise hidrológico-econômica

Apesar de tanto o custo anual do m<sup>3</sup> regularizado como também de custo anual do m<sup>3</sup> acumulado terem uma tendência negativa, ao aumentarmos a cota de soleira de 35 para 38 m, existem limitantes topográficos que limitam a escolha da cota da soleira. Assim, considerando os aspectos hidrológico-econômicos e os limitantes topográficos (cota de coroamento no máximo = 41,00m) sugere-se a adoção da cota de soleira = 37m (volume de armazenamento = 52,6 hm<sup>3</sup>).



**Figura 2.12. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Gameleira.**

### 2.6.3 - Dimensionamento do Sangradouro

No dimensionamento do sangradouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 10.000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação, e será determinada a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10.000 anos, para garantir o não galgamento nesta cheia.

Uma vez escolhida a dimensão do açude, elaborou-se o estudo de laminação para a cheia de 1.000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10.000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem.

Foram analisadas duas soluções possíveis: canal escavado em rocha e perfil Creager.

Para a alternativa do vertedouro escavado em rocha, os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se na Quadro 2.16, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

**Quadro 2.16 - Resultado da simulação acima descrita**

L (m)	$Q_{out}$ (m <sup>3</sup> /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
<b>Perfil Creager: <math>Z_w = 37</math> m</b>			
<b>Tr = 1000 anos - <math>Q_{in} = 893</math> m<sup>3</sup>/s</b>			
100	453	38,7	1,7
120	405	38,80	1,80
130	511	38,5	1,5
150	542	38,4	1,4
<b>Tr = 10000 anos - <math>Q_{in} = 1186</math> m<sup>3</sup>/s</b>			
100	616	39,1	2,1
120	469	38,98	1,98
130	693	38,9	1,9
150	734	38,8	1,8

L = Largura do sangradouro

$Z_w$  = cota da soleira do sangradouro

$Q_{in}$  = Vazão afluyente ao reservatório

$Q_{out}$  = Vazão de saída (sangradouro)

### 2.6.4 - Estudos Adicionais

Os estudos adicionais da bacia de Gameleira são descritos a seguir.

### 2.6.4.1 - Probabilidades de enchimento e esvaziamento - Equilíbrio

Neste tópico foi utilizada a teoria de Matriz de Transição para cálculo da probabilidade de esvaziamento e enchimento em equilíbrio. Para tanto, foi utilizada a formulação proposta pelo Prof. Nilson Campos (Campos, J.N.B., A procedure for reservoir sizing on intermitent rivers under high evaporation rates, PhD Thesis, Colorado State University, Fort Collins, 1987, pp. 133.).

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, no equilíbrio, em cerca de 50% dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 50 hm<sup>3</sup>.

### 2.6.4.2 - Assoreamento do açude Gameleira

O assoreamento de um reservatório ao longo da sua vida útil é inevitável porquanto a erosão e o transporte de sedimentos na bacia hidrográfica são processos naturais que, com a formação do lago, sofrem interferência no seu equilíbrio. O menor ou maior grau de assoreamento a que estará sujeito o reservatório depende de vários fatores, onde podem-se destacar aqueles inerentes à hidrologia da bacia hidrográfica, capacidade de armazenamento do açude frente ao volume afluente, conformação geométrica da bacia hidráulica e a composição dos sedimentos.

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 9% de Argila, 10% de Silte e 81% de Areia. A partir destas características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizados fórmulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

Peso específico aparente inicial - $\gamma_i$ (t/m <sup>3</sup> ):	1,423
Coefficiente de consolidação médio - K :	0,015
Descarga sólida média (t/ano):	194100
Descarga sólida média específica (t/km <sup>2</sup> /ano):	401,40
Razão de transporte ("delivery ratio") - T	0,112

A estimativa do volume assoreado e, conseqüentemente, do volume efetivo ou útil do reservatório ao longo do tempo é feita através da simulação simplificada da operação do reservatório em intervalos  $\Delta t$  igualmente espaçados durante um tempo suficientemente longo. O açude Gameleira foi simulado durante 100 anos com  $\Delta t$  igual a 10 anos. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de 39,7 hm<sup>3</sup>, havendo uma redução de 24,5% no volume útil do açude Gameleira, o qual era inicialmente de 52,6 hm<sup>3</sup>. Deve-se ressaltar, entretanto que a aplicabilidade desta metodologia ao semi-árido não foi verificada em face de inexistência de registros de dados sedimentológicos.



### 3 - DESCRIÇÃO DO ANTEPROJETO

### 3 - DESCRIÇÃO DO ANTEPROJETO

O anteprojeto da Barragem Gameleira foi elaborado a partir da apresentação de soluções técnicas alternativas para os diversos tipos de possíveis maciços, a comparação destas alternativas e finalmente a escolha da barragem, a qual melhor se adequa às condições naturais encontradas, levando-se em conta os custos e as finalidades da obra.

#### 3.1 - ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE LOCALIZAÇÃO DO EIXO

Utilizando-se as fotografias aéreas do SACS – Serviço Aerototogramétrico Cruzeiro do Sul, pertencente ao arquivo da 2ª DR/DNOCS (Diretoria Regional do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas), na escala de 1:25.000, foi possível desenvolver uma análise fotointerpretativa dos locais barráveis, e a elaboração do “overlay” correspondente, o qual foi “scanado” e vetorizado em computador, obtendo-se daí uma planta na mesma escala, com formato mais realístico e a identificação de locais possíveis de barramento.

A fotointerpretação associada às cartas da SUDENE na escala 1:100.000 e as visitas a campo, permitiram identificar algumas alternativas de boqueirão possíveis de barramento, cuja escolha foi definida através dos critérios a seguir:

1. Condicionantes hidrológicos, pela capacidade de oferta hídrica, possibilitando a ocorrência de sangrias mais constantes e uma acumulação mais confiável e duradoura.
2. Condicionantes sociais, pelo maior alcance às populações circunvizinhas e a garantia do abastecimento d'água da cidade de Itapipoca.
3. Condicionantes ambientais e econômicos relevantes, não só pela transformação do meio físico das áreas atingidas, como também sócio-econômicas, quanto ao reassentamento e o remanejamento das populações atingidas com os projetos,
4. Condicionantes topográficos, geológicos-geotécnicos, os quais estão diretamente ligados ao porte da barragem, sangradouro, fundação e aos materiais de construção, que em conjunto influenciam nos custos de investimento para a implantação das obras.

Assim sendo, nos estudos preliminares foram identificadas três alternativas, descritas a seguir:

## **EIXO – 1**

O Eixo – 1 barra o rio Mundaú na localidade de Gameleira. Está situado a 5,0km a este da CE-168 e a 15,0km de Itapipoca. Esta alternativa apresenta características gerais viáveis para a implantação de uma barragem no local, com altura de 18,0m de altura e comprimento de 1000m e acumularia um volume hídrico estimado de 30hm<sup>3</sup>. Ainda mais, sua fundação e local de implantação do sangradouro são bastante favoráveis, devido a pouca espessura do solo ao longo de todo o sítio barrável. A barragem neste local oferece um potencial de acumulação bem expressivo, limitado somente pelas condições topográficas, comum às bacias litorâneas. Existem condições favoráveis para a localização do sangradouro na ombreira esquerda sobre um substrato rochoso ali existente.

Após visita ao local, constatou-se em campo a presença de ralos afloramentos de rochas do embasamento cristalino, onde foram identificados ao longo do eixo, no leito do rio e nas ombreiras, induzindo para um eixo barrável assente em substrato rochoso. Pela configuração da calha do rio e da observação visual dos solos e rochas existentes, deduz-se que a fundação da futura barragem não irá oferecer grande complexidade, sendo executada provavelmente com o cutoff, assentes em rochas sã. Os solos de superfície, provenientes da alteração destas rochas são areno-argilosos e ocorrem com certa abundância na região. Estes solos serão utilizados como materiais argilosos para o maciço, caso seja executado a barragem no local.

A proximidade do Eixo – 1 com a Serra de Uruburetama denota a presença de afloramentos rochosos, bem próximos ao eixo, o que poderão ser explorados como pedreiras. Ao longo do rio Mundaú também foram identificados bancos de areia, com volumes expressivos e com características quartzo-fedspática de granulometrias favoráveis ao uso nos drenos da barragem.

A área inundável estimada do lago de acumulação do Eixo – 1 é da ordem de 558ha, sendo muito pouco habitada em toda a sua abrangência, minimizando portanto, os custos com reassentamento e remanejamento da população. Quanto aos condicionantes ambientais e sociais para este local, estão basicamente restritos a avaliações do meio biótico e sócio-econômicos.

## **EIXO – 2**

O Eixo – 2 barra o rio Mundaú na localidade da Fazenda Mala, situado a 1,8km a montante do Eixo – 1. Este boqueirão apresenta características geológicas-geotécnicas e topográficas muito semelhantes com o Eixo – 1, devido a proximidade entre os mesmos. O Eixo – 2 está posicionado em um boqueirão muito aberto, com comprimento da ordem de 1400m e altura de 17,0m, com a perspectiva de um reservatório capaz de acumular cerca de 20hm<sup>3</sup>. O local também é relativamente propício a implantação da obra, dada as características geológicas e geotécnicas superficiais do sítio. No entanto, quando comparadas ao Eixo – 1 se torna inviável em vários aspectos, principalmente no tocante ao volume de armazenamento. O boqueirão, por ser mais aberto, apresenta maior volume de maciço e conseqüentemente maior custo de implantação.

Aspectos sociais e ambientais são muito semelhantes entre o Eixo –1 e o Eixo – 2, não só pela proximidades entre os mesmos, mas também devido a incidência de praticamente a mesma população atingida, com a abrangência das áreas a serem desapropriadas do projeto.

### **EIXO – 3**

O Eixo – 3, situado na localidade de Cemoaba, barra o rio Mundaú 15,0km a montante do Eixo –1. Esta alternativa de eixo está posicionada a 8,0km de CE-354 e a 19,0km da cidade de Itapipoca. O referido boqueirão a priori apresenta um eixo mais estreito que os anteriores, em torno de 700m para uma altura de 18,0m. Porém, o mesmo possui um dique na sua margem esquerda com aproximadamente 1200m de comprimento, para uma altura de 15,0m, o que o torna neste aspecto, o menos atrativo.

Outra desvantagem da alternativa do Eixo – 3 Cemoaba como barramento, em comparação ao Eixo –1, é que o local para a implantação do sangradouro é bem mais desfavorável topograficamente e geotecnicamente pelos aspectos superficiais, ou seja, não existe rocha de boa qualidade, forçando para este local um projeto de sangradouro provavelmente mais exigente tecnicamente, considerando os níveis de segurança satisfatórios e, em consequência mais oneroso pela sua condição natural.

Outra diferença importante é que, no Eixo – 3 a bacia de acumulação apresenta um espelho d'água mais abrangente, em torno de 640ha, para um volume de acumulação em torno de 34hm<sup>3</sup>.

Quanto a interferência com a população existente na bacia de acumulação é visivelmente superior aos demais eixos, devido a incidência dos povoados de Rochoso e Lagoa das Pedras, localizados logo a montante deste eixo. Estes aspectos expressivamente negativos, de ordem ambiental e social, o inviabilizaram em relação ao Eixo –1.

#### **3.1.1 - Considerações Finais**

A alternativa do Eixo – 1, de um modo geral torna-se bem mais atrativa que os demais eixos denominados de 2 e 3. Não só pelos volumes comparativos na acumulação dos reservatórios, como também pela maior proximidade à cidade de Itapipoca, resultando em uma menor extensão da adutora para o seu abastecimento d'água.

### **3.2 - ESTUDOS DE ALTERNATIVAS DE MACIÇO**

O anteprojeto da Barragem Gameleira foi concebido considerando a utilização dos materiais da fundação e aqueles disponíveis para a construção, as condições geotécnicas do subsolo, a altura da barragem, as condições topográficas, as condições climáticas e as facilidades construtivas. A partir de então, foram estudadas duas alternativas de seções de maciço para a Barragem Gameleira, a saber:

## 1. Maciço Tipo – 1: Barragem de Enrocamento:

- ✓ Barragem constituída de um maciço de enrocamento, com núcleo impermeável central com material proveniente das jazidas J-01 e J-02. Espaldar de montante construído com material pétreo proveniente da pedreira P-01; espaldar de jusante construído com material pétreo proveniente da escavação do sangradouro e da pedreira P-01.
- ✓ Núcleo construído com um talude, tanto de montante como de jusante, de 1,0 (H): 0,5 (V), protegido por uma zona de transição. A zona de transição será proveniente do areal A-01 e da pedreira P-01.
- ✓ De acordo com a investigação geotécnica, as sondagens apresentaram ao longo do eixo barrável uma camada permeável, determinando a necessidade de uma trincheira corta fluxo, impermeável, o cut-off. Logo, foi previsto um cut-off assente em rocha ou embutido em solo residual. Os taludes de escavação serão de 1,0 (H) : 1,0 (V).
- ✓ Os espaldares de montante e de jusante serão assentes no topo rochoso ou incrustado em solo residual.

## 2. Maciço Tipo – 2: Barragem Homogênea de Terra

- ✓ Barragem de terra com zoneamento de material. Com o material da jazida J-01 será executado o cut-off e a zona de núcleo, o qual terá taludes de montante de 0,5:1,0 (H:V) e talude vertical no lado de jusante. Com os materiais das jazida J-02 e os materiais da escavação do sangradouro e jazida J-01, serão executados os espaldares.
- ✓ A geometria da barragem tem taludes de montante com inclinação de 2,5:1,0 (H:V) e jusante com inclinação de 2,0:1,0 (H:V).
- ✓ O coroamento da barragem ficará na cota 41,00m e a soleira do sangradouro na cota 37,00m.
- ✓ O sistema de drenagem interna compreende um filtro tipo chaminé, com material do areal A-01 e um tapete drenante, com material do areal A-01 e da pedreira P-01. Será executado um dreno de pé, rock-fill de seção trapezoidal, de altura de 2,0m.
- ✓ De acordo com os resultados das investigações geotécnicas, as sondagens apresentaram ao longo do eixo barrável uma camada permeável, determinando a necessidade de uma trincheira corta fluxo, impermeável, o cut-off. Logo, foi previsto um cut-off assente em rocha ou embutido em alteração de rocha. Os taludes de escavação serão de 1,0 (H) : 1,0 (V).

Apresentam-se a seguir as duas seções tipo estudadas.

## ALTERNATIVA 1

## ALTERNATIVA 2

### 3.2.1 - Critérios e Justificativa de Escolha da Alternativa de Maciço Escolhida

Aproveitando todo o potencial topográfico do boqueirão, foram simuladas a quantificação dos materiais necessários à execução da Barragem Gameleira na alternativa de Seção Tipo 1 e na alternativa Seção Tipo 2, como descrita anteriormente, com coroamento na cota 41,00m. A partir de então, procedeu-se a um confronto econômico entre as alternativas, com detalhamento suficiente para possibilitar o levantamento dos quantitativos dos grandes itens e orçando-se apenas aqueles que diferem nas alternativas. O sangradouro e a tomada d'água não foram orçados, pois independem da seção escolhida.

Nos Quadros N°s 3.1 e 3.2 são apresentados os custos das alternativas estudadas.

A escolha pela adoção de uma barragem de terra com seção homogênea foi feita a partir das seguintes considerações:

1. Para as duas alternativas analisadas, as escavações obrigatórias em rocha, não são suficientes para atender as necessidades dos concretos e dos enrocamentos de proteção, sendo necessária a exploração de pedreira. A adoção da Seção Tipo 1, em enrocamento, apresentou custos não competitivos, uma vez que a rocha teria que ser importada.
2. As pesquisas efetuadas e relativas aos materiais naturais de construção evidenciaram a ocorrência de solos, constituídos de areias pouco argilosas, com volumes suficientes para execução da barragem com a seção idealizada, como apresentado na Seção Tipo 2. O material das ocorrências além de oferecer excelentes características geotécnicas, quando compactados, apresenta grande trabalhabilidade, possibilitando a construção de um maciço com altas produções e custos competitivos.
3. Alternativa de maciço de gravidade ou em concreto compactado a rolo (CCR) para formar a Barragem Gameleira foram descartadas pela característica topográfica do boqueirão, ou seja, um boqueirão muito aberto, de dimensões extensas. Porém, o fator determinante para a eliminação destas alternativas foi a investigação geotécnica do subsolo, o qual indicou a presença de rocha em camadas profundas, inviabilizando a fundação deste tipo de barragem.

A concepção selecionada – Alternativa 2: Barragem em terra homogênea com núcleo zoneado, possui custo executivo compatível com a importância da obra e que, por suas características de acumulação, satisfaz as necessidades de consumo da população de interesse no que se refere à problemática de abastecimento d'água humano.



SRH/CE - Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará

Barragem Gameleira

Quadro Nº 3.1: Seção Tipo 1 (Barragem Enrocamento)

ITEM	DESCRIÇÃO	FONTE	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
					UNITÁRIO	TOTAL
1.	<b>BARRAGEM</b>					
1.1	<b>Fundação</b>					
1.1.1	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria até 200m (núcleo)	SRH/CE	m³	10.300,00	2,24	23.072,00
	Escavação e carga em material de 3ª categoria até 6,0km (espaldare)	SRH/CE	m³	12.230,00	14,63	178.924,90
	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria da fundação, com rebaixamento do	SRH/CE	m³	22.190,00	6,68	148.229,20
	Compactação de aterro em barragens - randon	SRH/CE	m³	22.190,00	1,10	24.409,00
	Compactação de aterro em barragens - material argiloso	SRH/CE	m³	10.300,00	1,17	12.051,00
1.2	<b>Maciço</b>					
1.2.1	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria até 200m (núcleo)	SRH/CE	m³	60.715,00	2,24	136.001,60
	Escavação e carga em material de 3ª categoria até 6,0km (espaldare)	SRH/CE	m³	91.060,00	14,63	1.332.207,80
	Compactação de aterro em barragens - randon	SRH/CE	m³	91.060,00	1,10	100.166,00
	Compactação de aterro em barragens - material argiloso	SRH/CE	m³	60.715,00	1,17	71.036,55
<b>TOTAL DO CUSTO</b>						2.026.098,05

SRH/CE - Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará

Barragem Gameleira

Quadro Nº 3.2: Seção Tipo 2 (Seção de Terra)

ITEM	DESCRIÇÃO	FONTE	UNID.	QUANT.	PREÇO (R\$)	
					UNITÁRIO	TOTAL
1.	<b>BARRAGEM</b>					
1.1	<b>Fundação</b>					
1.1.1	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria até 200m	SRH/CE	m³	10.432,00	2,24	23.367,68
1.1.2	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria da fundação, com rebaixamento do	SRH/CE	m³	10.432,00	5,58	58.210,56
1.1.3	Compactação mecânica e controle (100% do proctor normal)	SRH/CE	m³	10.432,00	1,10	11.475,20
1.2	<b>Maciço</b>					
1.2.1	Escavação, carga e transporte em material de 1ª categoria	SRH/CE	m³	158.420,00	2,24	354.860,80
1.2.2	Compactação mecânica e controle (100% do proctor normal)	SRH/CE	m³	158.420,00	1,10	174.262,00
<b>TOTAL DO CUSTO</b>						<b>622.176,24</b>

### 3.3 - ALTERNATIVA SELECIONADA: BARRAGEM DE TERRA HOMOGÊNEA

#### 3.3.1 - Descrição Geral da Barragem

O fechamento do vale do rio Mundaú será feito na localidade de Gameleira – Eixo 1, por meio de uma barragem de terra homogênea com núcleo zoneado, projetada com eixo retilíneo em planta, face às condições topográficas existentes. O maciço terá 16,50 m de altura máxima, 1721,25 metros de extensão pela crista, e capacidade total de acumulação de  $52,642 \times 10^6$  metros cúbicos.

A barragem tem seu coroamento na cota 41,00m, com 6,00m de largura de crista e taludes de montante inclinações de 2,5:1(H:V) e, a jusante com inclinações de 2:1(H:V), com berma de equilíbrio em jusante na cota 33,0m. O material de construção será proveniente das jazidas J-01, J-02 e escavações do sangradouro, respeitando-se os critérios de uniformidade e aceitação impostos nas especificações técnicas. Internamente, o maciço será zoneado no talude de montante, utilizando materiais da jazida J-01. Na realidade, este zoneamento se dá apenas pelo fato da utilização de materiais provenientes de jazidas diferentes, no entanto, o comportamento geotécnico esperado para os dois tipos de solo é bastante semelhante, pois ambos possuem a mesma classificação geotécnica.

O sistema de drenagem interna da barragem é constituído por um filtro vertical, tapete drenante e enrocamento de pé.

O filtro vertical tem espessura de 1,00m, com topo na cota 38,98m, sendo constituído de areia com granulometria apropriada.

O tapete drenante foi dimensionado com 1,00m de espessura e tem como função coletar eventuais descargas remanescentes do cut-off e das fundações e também atuar como elemento de transferência das descargas do maciço, captadas pelo filtro vertical até o enrocamento de pé (rock-fill).

O enrocamento de pé é constituído por blocos de pedras jogadas, com topo fixado na cota 29,0m, uma vez que sua função se resume em coletar vazões do sistema de drenagem, sem qualquer função de rebaixamento da superfície freática. Esta estrutura de descarga de todo o sistema de drenagem interna do maciço, bem como eventuais descargas pela fundação (sob o maciço), é projetada até o nível 27,00m e foi tomada em função da descarga através do maciço. Em cotas superiores, a drenagem interna é feita somente pelo filtro vertical, uma vez que o gradiente preferencial de percolação nas ombreiras, se dará no sentido do trecho central do vale, quando comparado com o sentido de montante para jusante do maciço.

Quanto ao material drenante, este deverá ser suficientemente fino para que seja evitado o carreamento de partículas sólidas do maciço através dele e, ter ainda granulometria grossa para que as forças de percolação que se desenvolvem no seu interior sejam pequenas.

Deverão ser obedecidos os seguintes critérios de filtro na determinação da sua granulometria:

$$1^{\circ}) D_{15} (\text{filtro})/D_{15} (\text{maciço}) > 5 > D_{15} (\text{filtro})/D_{85} (\text{maciço})$$

2º) A curva granulométrica do material do filtro deverá ser aproximadamente paralela à do material do maciço.

De forma a combater os efeitos erosivos das ondas sobre o talude de montante, prevê-se uma camada de proteção em material pétreo com características suficientes para execução do “rip rap”, com diâmetro médio de 0,62m assente sobre uma camada de materiais de transição com 0,20m de espessura.

O enrocamento a ser utilizado tem as seguintes características:

$$P_{50} = 0,45\text{tf}$$

$$D_{50} = 0,62\text{m}$$

$$D_{\text{mín}} = 0,39\text{m}$$

$$D_{\text{máx}} = 0,70\text{m}$$

A camada de transição tem a granulometria mostrada na Quadro 3.1.

<b>Quadro 3.1 – Transição</b>	
<b>Peneira (mm)</b>	<b>Faixa Granulométrica (% que passa)</b>
100	100
76,2	88 – 96
50,8	81 – 92
25,4	66 – 78
9,52	12 – 60
4,8	2 – 14
2,0	-

A proteção do talude será feita com uma camada de 0,30m de espessura de material britado como mostrado na faixa granulométrica da Quadro 3.2.

<b>Quadro 3.2 - Brita</b>	
<b>Peneira (mm)</b>	<b>Faixa Granulométrica (% que passa)</b>
>76,20mm	100
40mm	42 – 100
30mm	2 – 74
20	0 – 22
10	–

Na junção entre o maciço compactado e o terreno natural foi projetada uma canaleta de drenagem construída de blocos de pedra de mão rejuntados com argamassa, nos trechos superiores ao enrocamento de pé, para evitar erosões causadas pelas águas pluviais.

A crista da barragem, com 6,0m de largura e cota do coroamento na 41,0 m, possui caimento especificado em 2% para montante. Sobre o coroamento, foi prevista uma camada de 0,30m de cascalho argiloso de tamanho variado, com a finalidade de evitar erosões provocadas por águas de chuva e a construção de meio-fio em toda sua extensão, tanto no lado de montante, como no lado de jusante, com saídas laterais e inclinação para o talude de montante. Na ombreira esquerda, após o sangradouro, haverá necessidade de uma barragem auxiliar de fechamento com comprimento de 177,87m. As características básicas desta barragem serão as mesmas da barragem principal.

É recomendável que as camadas do aterro situadas em zonas mais elevadas, principalmente nas proximidades das ombreiras, sejam executadas com graus de compactação menores e umidades acima e em torno da ótima. As camadas inferiores do aterro terão maior resistência ao cisalhamento, e a profundidades maiores o peso do solo sobrejacente será suficiente para se ter tensões de compressão.

Nas fundações previu-se tratamento superficial em toda área de implantação da barragem, consistindo este na remoção de todo o solo de recobrimento com espessura média de 1,00 m. Na área de apoio cut-off da barragem, o tratamento se torna mais intenso, devendo as escavações atingir o solo residual, prevendo-se ainda regularização para a obtenção de superfícies planas e contínuas.

O Cut-Off está dimensionado com valores de 6,00 e 8,00 metros. No trecho central, mais especificamente entre estacas 12 e 28, a base do Cut-Off possui dimensão de 8,00 metros e nos demais trechos é reduzido para 6,00 metros. Os taludes fixados para o Cut-Off, não importando suas dimensões, são de 1:1 (H:V) e será utilizado material proveniente da jazida J-01.

### 3.3.2 - Definição da Geometria da Barragem

A cota da crista da barragem foi fixada em 41,00m, com base na definição de soleira determinada nos Estudos Hidrológicos e nas estimativas de revanche efetuadas. O nível d'água máximo maximorum no reservatório para um tempo de recorrência de mil anos, se situa na cota 38,98m. A folga ("freeboard") necessária, obtida utilizando-se um "fetch" medido de 6,8km e a metodologia do prof. Paulo Cruz, descrita no Capítulo 15 de seu recente livro "100 Barragens Brasileiras", resultou em 0,55m. Para definição da cota da crista verificou-se o NA máximo maximorum do reservatório para as cheias milenar e decamilenar. Na primeira verificação, adotando-se a folga calculada em função do "fetch", o resultado foi com nível máximo na cota 40,40m. Na segunda verificação, somou-se a lâmina à folga mínima de 0,5m, que resultaria do nível 39,50m. A cota do coroamento foi arredondada para 41,00m.

#### Largura da Crista

A largura da crista da barragem é geralmente fixada com base nas dimensões de obras semelhantes e/ou para finalidades específicas que imponham uma determinada largura, além de aspectos construtivos.

No trabalho "Barragens em Terre Compactée - Practiques Americaines" - G. Post e P. Londe apresentam a fórmula de E.F. Preece, para fixar a largura  $b$  em função da altura  $H$  da barragem:

$$b = 1..1\sqrt{H} + 1 \quad H = \text{altura máxima}$$

Obeve-se então  $b = 5,47\text{m}$

Considerando as características específicas da barragem do Gameleira, adotou-se a largura de 6,00 metros.

#### Fixação dos Taludes

Na fixação dos taludes da barragem Gameleira procurou-se, mantida a segurança necessária a uma obra desse porte, reduzir tanto quanto possível o volume do maciço compactado.

Os taludes foram inicialmente adotados com base nos parâmetros definidos através dos ensaios de laboratório que indicam a disponibilidade de um material de alta resistência ao cisalhamento, uma vez que predominam materiais tipo SC (areias argilosas), com coesão e ângulo de atrito interno da ordem 0,05 kg/cm<sup>2</sup> e 30°, respectivamente.

A geometria externa da barragem ficou assim caracterizada:

**Talude de Montante:** da cota da crista (41,00m) talude de 2,5:1 (H:V) até o terreno natural.

**Talude de Jusante:** talude de 2:1 (H:V) da crista até o terreno natural, com berma de equilíbrio na cota 33,00m.

Os taludes adotados tiveram sua estabilidade verificada para as condições críticas de carregamento.

### **Dispositivos de Controle da Percolação d'Água pelo Maciço e Fundação da Barragem**

Como dispositivo de proteção contra o carreamento do material fino do maciço argiloso, pelas águas em percolação, foi previsto um filtro vertical, que completa a função de coletar eventuais fluxos pela fundação, após o cut-off, com um tapete drenante que deságua num enrocamento de pé.

As condições geológico-geotécnicas da rocha de fundação e, face às características da barragem projetada, conclui-se que cut-off será suficiente como controle da percolação pela fundação.

Com o preenchimento de material impermeável na trincheira, comparado com o material da fundação, ocorrerá a redução da percolação sob o maciço e das pressões no pé de jusante, que são diretamente proporcionais à profundidade da trincheira.

### **3.3.3 - Tomada D'água**

Serão descritas a seguir as principais características da obra de tomada d'água da barragem Gameleira:

A tomada d'água ficará embutida no maciço do terreno natural, firmemente apoiada sobre rocha como fundação, e se localiza da ombreira esquerda, com eixo na estaca 10+10,00, e tubulação na cota 25,50m.

A orientação do fluxo em direção ao emboque da tomada d'água será feita através de um canal de acesso, implantado na cota 25,00m, encaixando-se na estrutura por meio de uma caixa de entrada provida de uma grade de proteção contra entrada de material graúdo que desce das margens.

A estrutura de captação em concreto armado será do tipo convencional "galeria", com dispositivos de controle de saída.

A galeria terá um diâmetro de 700mm, com cerca de 70 m de comprimento.

O acionamento da tomada d'água será feito a jusante, através de registro gaveta com comando de pedestal de manobra, e uma válvula borboleta de guarda.

O eixo da tomada d'água será perpendicular ao da barragem.

### 3.3.4 - Sangradouro

Descreve-se a seguir as características gerais do sangradouro da barragem Gameleira.

A solução adotada caracteriza-se pela simplicidade do arranjo, decorrente de condicionantes geológicas do local de implantação das obras. As ombreiras do boqueirão da Barragem Gameleira apresentam uma pequena cobertura de solo, viabilizando assim, a implantação da estrutura vertente nas mesmas. Pesquisando-se o trecho que apresentasse melhores condições de fundação e que resultasse na solução mais econômica, o sangradouro ficou localizado entre as estacas 6 e 12.

Esse arranjo proporciona total segurança de funcionamento e, associada a uma economia substancial nos investimentos, devido inclusive, à redução dos custos da fundação.

A estrutura do sangradouro terá uma largura de 120,00m e compreende de um canal escavado em rocha na cota 34,00m, um perfil Creager com cota da soleira em 37,00m e dois muros laterais. O sangradouro foi projetado para dar vazão a uma descarga de 220,60m<sup>3</sup>/s que corresponde a uma vazão de tempo de recorrência igual a 1.000 anos.

### 3.3.5 - Apresentação do Anteprojeto

Nos Tomos 2A e 2B são apresentados os desenhos do Anteprojeto da Barragem Gameleira, assim discriminados:

Relação dos Desenhos do Anteprojeto		
Tomos	Desenho Nº	Descrição
2 A	II-2-01/31-001	Planta de Bacia Hidráulica
2 A	II-2-02/31-001	Planta de Locação das Sondagens
2 A	II-2-03/31-001	Perfil Geotécnico – Boqueirão e Sangradouro
2 A	II-2-04/31-001	Planta Geral da Locação das Ocorrências
2 A	II-2-05/31-001	Planta de Locação das Ocorrências
2 A	II-2-06/31-001	Arranjo Geral – Barragem e Sangradouro
2 A	II-2-07/31-001	Perfil Longitudinal da Barragem e Sangradouro
2 A	II-2-08/31-001	Seções Tipo – Detalhes Barragem Principal e Auxiliar
2 A	II-2-09/31-001	Seções Transversais (01/11)
2 A	II-2-10/31-001	Seções Transversais (02/11)



### Relação dos Desenhos do Anteprojeto

<b>Tomo</b>	<b>Desenho Nº</b>	<b>Descrição</b>
2 A	II-2-11/31-001	Seções Transversais (03/11)
2 A	II-2-12/31-001	Seções Transversais (04/11)
2 A	II-2-13/31-001	Seções Transversais (05/11)
2 A	II-2-14/31-001	Seções Transversais (06/11)
2 A	II-2-15/31-001	Seções Transversais (07/11)
2 B	II-2-16/31-001	Seções Transversais (08/11)
2 B	II-2-17/31-001	Seções Transversais (09/11)
2 B	II-2-18/31-001	Seções Transversais (10/11)
2 B	II-2-19/31-001	Seções Transversais (11/11)
2 B	II-2-20/31-001	Detalhes da Drenagem
2 B	II-2-21/31-001	Escavação da Tomada D'água – Planta, Perfil e Seção Tipo
2 B	II-2-22/31-001	Tomada D'água – Planta e Seção Longitudinal
2 B	II-2-23/31-001	Tomada D'água – Seções Transversais e
2 B	II-2-24/31-001	Tomada D'água – Caixa de Montante e Jusante - Formas
2 B	II-2-25/31-001	Tomada D'água – Galeria e Caixa de Montante – Armadura
2 B	II-2-26/31-001	Tomada D'água – Galeria e Caixa de Jusante – Armadura
2 B	II-2-27/31-001	Planta, Perfil e Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (01/02)
2 B	II-2-28/31-001	Planta, Perfil e Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (02/02)
2 B	II-2-29/31-001	Muros de Proteção – Detalhes
2 B	II-2-30/31-001	Muro Vertedouro – Detalhes
2 B	II-2-31/31-001	Cortina de Injeção de Cimento