

MÓDULO III – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM GAMELEIRA

VOLUME 1 – ESTUDOS BÁSICOS

TOMO 1 – RELATÓRIO GERAL

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
00	Abr/02	Apresentação – Edição Definitiva	CONSÓRCIO	TAD	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	8
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	10
<u>3 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u>	13
<u>3.1 - TRABALHOS CARTOGRÁFICOS</u>	14
<u>3.2 - TRANSPORTES DE COORDENADAS</u>	14
<u>3.3 - TRANSPORTES DE COTAS</u>	15
<u>3.4 - LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO</u>	17
<u>3.5 - LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA</u>	18
<u>3.5.1 - Cobertura Aerofotogramétrica</u>	18
<u>3.5.2 - Mapeamento Planialtimétrico</u>	20
<u>3.6 - LEVANTAMENTO DOS EMPRÉSTIMOS</u>	22
<u>3.6.1 - Jazida</u>	23
<u>3.6.2 - Areal</u>	23
<u>3.6.3 - Pedreira</u>	23
<u>3.7 - SÍNTESE DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO</u>	23
<u>4 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS</u>	24
<u>4.1 - GEOLOGIA REGIONAL</u>	25
<u>4.2 - GEOLOGIA LOCAL</u>	29
<u>4.3 - LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE</u>	32
<u>4.3.1 - Sangradouro (da estaca 18 a 0)</u>	32
<u>4.3.2 - Barragem</u>	33
<u>4.3.3 - Dique Auxiliar (da estaca 47 a 70+10m)</u>	35
<u>4.3.4 - Diagrama de Fraturas</u>	36
<u>4.4 - INVESTIGAÇÕES DO BARRAMENTO</u>	37

4.4.1 - Sondagens a Pá e Picareta	37
4.4.2 - Sondagens à Percussão	38
4.4.3 - Sondagens Mistas	39
4.4.4 - Ensaios de Campo	40
4.5 - INVESTIGAÇÕES DO SANGRADOURO	40
4.5.1 - Sondagens a Pá e Picareta	41
4.5.2 - Sondagens à Percussão	42
4.5.3 - Sondagens Mistas	42
4.6 - ESTUDOS DOS MATERIAIS	43
4.6.1 - Jazidas	44
4.6.2 - Areal	45
4.6.3 - Pedreira	45
5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS	46
5.1 - CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA	47
5.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS	50
5.3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	51
5.3.1 - Chuvas Intensas	53
5.4 - ESTUDOS DE CHEIAS	55
5.4.1 - Precipitação Efetiva para aplicação do HEC-1	57
5.4.2 - Hidrograma Unitário - SCS	59
5.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO	61
5.5.1 - Resultados	62
5.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	64
5.6.1 - Análise econômica	64
5.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório - Análise hidrológico-econômica	64
5.7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO	65
5.7.1 - Propagação da Cheia no Reservatório	65
5.7.2 - Resultados	66

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 Viabilidades Técnicas, Ambientais e Econômicas, EIA's-RIMA's, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliação Financeira e Econômica, referentes às Barragens GAMELEIRA, TRAIRI, JENIPAPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Aduadoras de ITAPIPOCA, TRAIRI, IPAUMIRIM/BAIXIO/UMARI e MARANGUAPE/SAPUPARA/URUCARÁ/LADEIRA GRANDE, no Estado do Ceará.

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 Aduadoras

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

Módulo II – Estudos dos Impactos Ambientais

VOLUME I – Estudos dos Impactos Ambientais - EIA

VOLUME II – Relatório dos Estudos dos Impactos Ambientais - 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

VOLUME II – Plano de Reassentamento

Tomo 1 – Diagnóstico Socioeconômico

Tomo 2 – Detalhamento do Plano de Reassentamento

Módulo V – Projeto Executivo das Adutoras

VOLUME I – Estudos Básicos - Levantamentos Topográficos e
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 Medições

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 I – Estudos Básicos, Tomo 1 – Relatório Geral da Barragem Gameleira*, e é parte integrante do *Módulo III*.

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

O presente relatório, é parte integrante de um conjunto de estudos que estão sendo apresentados e que permitirão, ao final, definir a solução técnica mais viável para a elaboração do Projeto da Barragem, tendo sido elaborado de forma a atender os requisitos básicos estabelecidos pela SRH, configurados nos Termos de Referência, os quais reúne as informações técnicas essenciais ao desenvolvimento dos trabalhos.

O objetivo desse relatório é fazer um relato sintético de todas as atividades desenvolvidas nos Estudos Básicos referentes aos estudos topográficos, cartográficos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos, desenvolvidos para subsidiar o Projeto Executivo da Barragem Gameleira.

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

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 2.1 a seguir).

Figura 2.1

Mapa de localização

Arquivo Dwg

3 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

3- ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

3.1 - 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;
- São Luís do Curu: folha nº SA.24-Y-D-VI

O contorno da bacia hidrográfica da Barragem Gameleira está apresentado na Figura 3.1 a seguir.

3.2 - 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 3.1 a seguir.

Quadro 3.1 – Marcos Implantados na Barragem Gameleira

Ponto	Localização (¹)	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 ²	Km 19,19 LD	9.627.341,737	445.289,566	39°29'33,02777"W	03°22'16,96960"S
Marco M-03 ³	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

(¹) 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.

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

(³) 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.

3.3 - TRANSPORTES DE COTAS

O transporte de cotas se fez com a implantação de um marco a partir do marco 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 dar acesso a localidade de Córrego Fundo) com cota igual a 45,345m, transportada da RN 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.

Figura 3.1

Bacia Hidrográfica de Gameleira

Arquivo: Bacia Hidrográfica Gameleira.dwg

3.4 - 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.

3.5 - 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.

3.5.1 - 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, chassi 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

Após a concessão da autorização de aerolevanteamento concedida pelo Ministério da Defesa, iniciaram-se os trabalhos de cobertura aerofotogramétrica, os quais apresentamos a seguir:

a) Plano de Vôo

Foram lançados nas áreas do projeto em questão, os eixos das faixas de vôo, necessários ao recobrimento da área, nas cartas topográficas do IBGE, na escala 1:100.000.

Concluído o plano de vôo gráfico, passou-se para a elaboração do plano de vôo analítico, baseando-se nas seguintes especificações técnicas:

- Sentido do Vôo: Norte – Sul;
- Superposição Longitudinal do Vôo: 60% ($\pm 5\%$);

- Superposição Lateral do Vôo: 30% ($\pm 5\%$);
- Objetiva da Câmara: Grande Angular; e
- Distância Focal Calibrada: 152,741mm.

b) Recobrimento Fotogramétrico

O recobrimento aerofotogramétrico foi realizado na escala 1:15.000, abrangendo a área da barragem Gameleira, no sentido Norte-Sul. Foram realizadas primeiramente 03 faixas de vôo, totalizando 24 fotos, as quais foram substituídas e realizadas 05 faixas de vôo, totalizando 55 fotos.

c) Dados que Constam nas Fotos

- Escala da foto;
- Número da faixa;
- Número da foto;
- Nome do local;
- Coordenadas do centro das fotos no momento da tomada;
- Distância focal calibrada da câmara; e
- Marcas fiduciais.

d) Laboratório

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.

e) Foto-índice

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram scanerizadas 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.

Dados contidos no Foto-índice:

- Número de cada exposição que o compõem;
- Número de faixas;
- Escala da Foto; e
- Escala da Foto-índice.

3.5.2 - Mapeamento Planialtimétrico

a) Apoio Básico

Na Barragem Gameleira 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. De cada marco foi elaborada uma monografia que se encontra no Capítulo 11, item 11.1 do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 3 – Estudos Cartográficos – Planialtimetria.

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.

As medições foram feitas com GPS Trimble 4600LS de uma freqüência com duração de rastreio de 1 hora.

A tabela abaixo mostra o erro de fechamento da poligonal que deu coordenadas aos vértices.

$\epsilon_f E$ (m)	$\epsilon_f N$ (m)	ΣD (km)	Precisão (m)
+0,3290	+0,1259	54,5758	1:154927

Os vértices implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem de partida o vértices M-04 e chegada M-01 ambos da barragem Trairi que tiveram como partida a RN-1852M e a chegada RN-1852N ambas do IBGE com precisão de $2mm\sqrt{k}$.

RN 1852M	51,4628 m
RN 1852N	52,0231 m

PLANTA DA BACIA HIDRÁULICA – A3

b) Aerotriangulação

As imagens para a geração dos trabalhos 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.

Considerando a importância da aerotriangulação na precisão do produto final, os procedimentos foram rigorosamente controlados.

c) Restituição Fotogramétrica

Para a vetorização dos elementos cartográficos a seguir discriminados, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico.

Elementos Cartográficos representados:

- Sistema hidrográfico;
- Altimetria;
- Referências de nível; e
- Ortofoto.

Na barragem Gameleira foi restituída uma área de 15,36km².

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

3.6 - 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*.

3.6.1 - 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 130.00,00m² e volume útil de 79.300,00m³, 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 270.000,00m² e volume útil de 278.100,00m³, 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.

3.6.2 - Areal

Foi estudado 01 areal que está localizado na estaca 24 do eixo da barragem, com área de 27.000m² e um volume útil de 40.500m³.

3.6.3 - 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 90.000m³.

3.7 - SÍNTESE DO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Locação e nivelamento do eixo barrável e do sangradouro	2,04 Km
Levantamento das secções do eixo barrável e do sangradouro	24,41 Km
Locação e nivelamento da poligonal do canal de sangria e da calha do rio	4,97 Km
Levantamento de jazidas (malha 100 x 100)	45,70 Ha
Transporte de cotas	16,80 Km

4 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

4 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

4.1 - GEOLOGIA REGIONAL

A descrição da geologia regional teve como fonte de pesquisa o Mapa Geológico do Estado do Ceará, elaborado em 1983, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em convênio com o Governo do Estado do Ceará, em escala 1:500.000 e o Projeto Fortaleza, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais através do convênio DNPM/CPRM, em 1981, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Fortaleza.

A rede hidrográfica é comandada pelo sistema da bacia litorânea noroeste do estado do Ceará. O Rio Mundaú, escolhido para a formação da barragem, recebe a contribuição do Rio Cruxati, bem próximo de sua foz, desaguando também no litoral. São rios intermitentes onde predomina o padrão de drenagem dendrítico.

Quatro feições morfológicas estão presentes. A Primeira compreende a faixa litorânea caracterizada pelas dunas, dispostas em cordões paralelos à costa. Entre o relevo litorâneo e as serras altas do interior, desenvolve-se a Segunda feição, representada pelos tabuleiros cenozóicos, ocupando uma faixa de largura entre 30 a 50Km ao longo da costa, formando uma superfície aplainada, suavemente inclinada para o mar. Essas coberturas pertencem aos sedimentos do Grupo Barreiras Indiviso de idade terciário-quadernária. A Terceira feição corresponde a um extenso pediplano de rochas cristalinas pré-cambrianas, constituindo um conjunto profundamente arrasado, com cotas em torno de 60m. Sobressaindo desse relevo monótono tem-se a feição representada pelos maciços montanhosos esculpidos em rochas cristalinas, destacando-se a Serra Sítio Verde, próximo à cidade de Itapipoca, e a Serra de Uruburetama, no município de mesmo nome.

A geologia da área é representada em grande parte pelas rochas cristalinas pré-cambrianas, ocorrendo os sedimentos cenozóicos na porção ao norte de Itapipoca, próximo ao litoral (ver Figura 4.1).

Figura 4.1 - Mapa Geologia Regional

As rochas cristalinas pré-cambrianas foram agrupadas em cinco unidades litoestratigráficas individualizadas segundo os critérios estruturais e sendo consideradas as associações litológicas, estratigraficamente indiferenciadas, visto que os elementos estruturais relacionados aos eventos geológicos foram mascarados pela tectônica superimposta desenvolvida em vários ciclos de reativação. Passa-se a descrever a seguir as unidades descritas nas fontes de pesquisa supracitadas:

- **Complexo Caicó:** esta unidade é constituída de gnaisses variados, incluindo lentes de quartzito, metarcósio, anfíbolito e calcário cristalino. Além de migmatitos com estruturas planares bem desenvolvidas (metatexitos) e com estruturas homogeneizadas (diatexitos). O “trend” estrutural está orientado segundo NE-SW, tendo como características na região de domínio dos gnaisses as feições retilíneas. A ausência de foliação é característica no domínio dos diatexitos.
- **Rochas Plutônicas Granulares:** esta unidade representa todas as rochas granulares formadas em baixo da superfície terrestre, representada por granitóides, gabróides e sienitos posicionados concordantes com o “trend” regional. Os granitóides estão representados por um corpo a noroeste de Itapipoca, com coloração rósea, granulação grosseira e contatos transicionais. Os gabróides ocorrem em corpos geralmente com forma ovóide, apresentando contatos transicionais, eventualmente bruscos, bordejados por rochas foliadas e apresentando composição predominantemente diorítica, ocorrendo em um corpo situado à oeste de Amontada.
- **Complexo Tamboril-Santa-Quitéria:** Apresenta uma morfologia uniformemente elevada e tem contatos transicionais para com as rochas cristalinas circunjacentes. Compreende litologias altamente migmatizadas, apresentando uma zonação da periferia para o núcleo, começando com gnaisses e migmatitos homogeneizados, com culminações granitóides nas porções mais centrais da unidade. Estratigraficamente trata-se de um domo gnaiss-granito, também chamado de domo migmatítico. Está orientado segundo o “trend” da estruturação regional. Os corpos granitóides pertencentes às porções centrais deste domo são, petrograficamente,

constituídos por granitos granodioritos de grã média a grossa equigranulares ou porfiróides.

- **Grupo Ceará:** compreende uma sequência formada por quartzitos na base, seguida de xistos, filitos, gnaisses e lentes carbonáticas no topo da sequência. O quartzito, o filito e a fácies carbonática podem, localmente estar ausentes. Via de regra a unidade mostra-se dobrada, formando sinclinais assimétricas ou reviradas, fazendo contatos aparentemente concordantes com o Complexo Caicó.
- **Diques Ácidos:** são agrupadas nesta unidade todas as rochas filoneanas de caráter petrográfico ácido e hiperácido, como granitos filoneanos, pegmatitos e veios quartzosos e de sílica cripto-cristalina. Essas rochas geralmente não são mapeáveis em escala regional e ocorrem preenchendo fraturas com direções NW, NE ou N-S.

Da era Cenozóica, estão presentes as unidades mais recentes, estratigraficamente falando, divididas da seguinte forma:

- **Grupo Barreiras Indiviso:** de idade tércio-quadernária ocorre formando extensos tabuleiros, fazendo contatos nítidos com as rochas cristalinas e constituindo uma sequência sedimentar representada por conglomerados, arenitos e siltitos de cores variegadas com intercalações de argila e cascalhos.
- **Sedimentos Litorâneos:** esta unidade é formada por cordões areníticos de idade recente, representados por arenitos flúvio-marinhos e sedimentos inconsolidados de origem eólica, que constituem as dunas, desenvolvendo-se paralelamente à linha de costa, capeando a sequência sedimentar do Grupo Barreiras, podendo ser subdivididas, de acordo com suas características genéticas, morfológicas e faciológicas, em dunas móveis e paleodunas; as primeiras constituídas de sedimentos inconsolidados, formadores de dunas de praia, estando intimamente condicionados ao desenvolvimento da geomorfologia litorânea; as segundas, representadas pelas dunas antigas, rebaixadas quase ao nível dos tabuleiros costeiros, pelo constante retrabalhamento dos ventos, constituídas litologicamente

por areias de grã fina a média, raramente siltosas, quartzosas e/ou quartzofeldspáticas, com grãos arredondados e foscos, bem selecionados, de coloração variando de cinza-claro a alaranjado no topo e avermelhado na base.

- **Aluviões:** são formações recentes, de idade quaternária, constituídas de depósitos fluviais ou lagunares, compondo-se de sedimentos arenosos inconsolidados. Ocorrem principalmente nos leitos e margens dos principais rios e riachos da região, destacando-se os rios Aracati-Mirim, Aracatiaçu, Cruxati, Mundaú, Trairi e Curú.

O elemento estrutural marcante na região é a falha de Forquilha, que apresenta uma direção NE-SW e rejeito dextrógiro. Sua extensão é de aproximadamente 130Km, passando por Groaíras, Forquilha e adentrando na calha do rio Cruxati, onde é coberta pelos aluviões e pelos sedimentos terciário-quaternários existentes na porção setentrional da região.

Na Figura 4.1 é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas geográficas: Meridianos – 39° 15' a 40° 00' de longitude oeste e Paralelos 3° 00' a 4° 00' de latitude sul, compilada do Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983.

4.2 - GEOLOGIA LOCAL

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

Ao longo do eixo topográfico locado, a maior parte do terreno é caracterizado por uma camada superficial de solo proveniente da decomposição da rocha subjacente, formando um manto com espessura média de 1,60m de profundidade que recobre rochas cristalinas do Pré-Cambriano, classificadas no Complexo Caicó, muitas vezes recortadas por veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos filonianos. Na área ocupada pela bacia hidráulica foram visualizados afloramentos de rochas gnáissicas, e graníticas, sendo que em alguns locais, na porção leste da área, há o contato entre essas rochas e os sedimentos inconsolidados pertencentes às coberturas terciário-quaternárias. Os gnaisses apresentam-se muitas vezes cataclásados ou milonitizados, sendo a fácies mais comum, os biotita-gnaisses, de cor cinza,

mesocráticos, granulação fina a média, foliação bem definida, apresentando estruturas subhorizontalizadas, compostos essencialmente de feldspatos (com predominância do plagioclásio), quartzo, biotita e mucovita, eventualmente encontrado-se a granada como mineral acessório e, com muita frequência, principalmente nas margens e leito do rio Mundaú, ocorrem fenoblastos (cristais porfíricos em forma de áugens) de plagioclásio, orientados concordantemente com a lineação dos minerais, evidenciando o desenvolvimento de cataclase. Nas poções mais milonitizadas a rocha apresenta-se intensamente fraturada, de grã fina, cor cinza clara com tons rosados, leucocrática, com elevada dureza, algumas vezes se confundindo com quartzito. Há também alguns casos em que o gnaiss apresenta-se migmatizado, exibindo estruturas dobradas e estromáticas, que mascaram a foliação. Em uma área situada mais à leste, mais ou menos 3Km à montante do eixo projetado, próximo à localidade de Briosos ou Lagoa dos Briosos, ocorrem grandes afloramentos de gnaiss em forma de lagedos e blocos, que superficialmente apresentam aspecto são, elevada dureza, com bandeamento e diversos falhamentos normais e de transcorrência, com rejeito direcional no sentido destal, com deslocamentos que chegam a 15 cm. Essa área merece atenção especial no sentido de se verificar de forma mais aprofundada, com utilização de sondagem geomecânica, a possibilidade de aproveitamento para disponibilização de materiais pétreos para a obra, tendo em vista que a forma de ocorrência dos afloramentos, dispostos dispersamente em um terreno de topografia plana dificulta a visualização, a nível de superfície, com relação à continuidade e à profundidade do topo rochoso de maneira geral. Em um dos afloramentos visitados nessa área foi registrado, através de GPS, o ponto de coordenadas 449.148E e 9.624.318N, indicado no mapa geológico da bacia hidráulica apresentado no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos. Nos afloramentos de gnaiss visualizados ao longo dos perfis realizados em toda a extensão da bacia hidráulica foram medidas as atitudes de foliação da rocha, com utilização de bússola (Azimute), que indicaram direção preferencial segundo NE-SW (concordante com o “trend” regional), com mergulhos sub-horizontais, variando entre 20° a 60° predominantemente para SE.

Na área de domínio dos granitos a rocha aflora normalmente em forma de blocos e matacões dispersos. Nesses afloramentos a rocha apresenta coloração cinza-clara a rósea, mesocrática, textura conspícua, algo orientada, algumas vezes bem homogênea e na maioria das vezes porfíroide, com granulação fina a grosseira, constituídos principalmente de quartzo, feldspato (plagioclásio e ortoclásio) e biotita. Nas imediações da localidade de Novo Assis, a aproximadamente 8Km à montante do eixo projetado, ocorre uma extensa área com grande concentração de afloramentos em forma de blocos e matacões, muitas vezes formando elevações que se sobressaem da superfície aplainada do terreno, se estendendo até o leito do rio Mundaú. É também

aconselhável, nesta área, um estudo de viabilidade quanto à possibilidade de exploração da rocha para suprir as necessidades de materiais pétreos que serão exigidos na obra. Com o auxílio de GPS foram anotados vários pontos de coordenadas onde ocorrem esses afloramentos, a seguir enumerados, e indicados no mapa geológico da bacia hidráulica apresentado no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos: 448.270E/9.620.150N; 448.395E/9.619.706N; 448.579E/9.619.914N; 448.657E/9.619.992N; 449.706E/9.620.044N.

Os veios quartzosos e de sílica, bem como de pegmatitos, ocorrem frequentemente encaixados, tanto nos gnaisses como nos granitos. Estão ligados a zonas de fraturamento, e normalmente são discordantes da foliação regional.

São comuns também, extensas áreas com cobertura de solo proveniente da decomposição da rocha subjacente, com escassez de afloramentos, e muitas vezes formando depósitos colúvio-eluviais de topografia plana e suave. Tratam-se de sedimentos imaturos, inconsolidados, provenientes da alteração de rochas cristalinas transformados em sedimentos areno-silto-argilosos, contendo grãos de quartzo pouco desgastados e palhetas de mica e grãos de feldspatos em vias de alteração com coloração avermelhada ou amarelada e granulação fina a média. Esses sedimentos, quando mais lixiviados, apresentam-se mais arenosos e são mais esbranquiçados. Muitas vezes se pode notar, na superfície do terreno, veios de quartzo que se preservaram durante o processo de formação desses sedimentos, bem como extensas áreas com cobertura de seixos angulosos e/ou rolados de quartzo e sílica e fragmentos de rochas formando zonas que se pode definir como “cascalheiras”. Ao longo do eixo da barragem em estudo, desde o sangradouro até próximo à margem esquerda do rio, são comuns essas ocorrências.

As aluviões constituem depósitos sedimentares recentes de idade quaternária que formam faixas alongadas estreitas e sinuosas depositadas nas calhas e margens do rio Mundaú e de seus contribuintes, constituídos de silte-areno-argiloso de cor cinza clara a escura, nas margens, e areias mal selecionadas, algumas vezes com seixos e fragmentos de rochas nas calhas.

A drenagem local ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas.

Quanto ao aspecto estrutural, não há visualmente, no âmbito local, nenhuma estrutura ruptural de importância que chame a atenção para alguma advertência no que diz respeito a providências preventivas relacionadas a esse fator. Entretanto chama a atenção a presença de rochas miloníticas intensamente fraturadas que ocorrem na

margem direita e na calha do rio Mundaú, bem próximo do eixo projetado, mais precisamente numa faixa situada entre 30 e 100 metros para jusante. O milonitos são rochas típicas do metamorfismo dinâmico, o qual ocorre ao longo de zonas de cisalhamento, onde predomina a deformação, em geral acompanhada da redução na granulação e recristalização subsequente. Nas áreas próximas a falhamentos predominam esforços puramente mecânicos, sendo o cisalhamento um movimento essencialmente rúptil, causando o fraturamento e a fragmentação da rocha, produzindo os cataclasitos e os milonitos. As estruturas e texturas decorrentes das deformações, no metamorfismo dinâmico, reduzem de maneira sensível as qualidades físico-mecânicas das rochas, além de se configurarem propícias à alteração intempérica.

4.3 - LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo do eixo topográfico locado, e na área de ocupação da bacia hidráulica, teve como principal objetivo a identificação e classificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos, já que via de regra, no âmbito regional, todas essas litologias pertencem a uma associação metamórfica que compõe o complexo cristalino de idade Pré-Cambriana.

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:

4.3.1 - 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, apresentado no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos. 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 gnaiss muito alterados e intensamente fraturados com minerais bem orientados de quartzo, feldspato e mica (biotita e muscovita). A atitude de foliação medida é N60°Az/38° SE. Também na seção da estaca 1 + 10m, 140m à jusante, no leito da estrada, ocorre um pequeno afloramento, a nível superficial, de gnaiss 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. Na estaca 15 (eixo) foi executado um poço a pá e picareta com 1,00m de profundidade, que indicou: de 0,00 a 0,20m de profundidade uma camada de areia fina, com pedregulhos, com raízes, cinza clara (expurgo); de 0,20 a 0,50m de profundidade uma camada de silte areno-argiloso, com pedregulhos, cinza escuro; de 0,50 a 0,80m de profundidade uma camada de silte areno-argiloso, com concreções, vermelho, amarelo e cinza, variegado e entre 0,80m a 1,00m ocorre um silte argiloso, com pedregulhos e concreções, com fragmentos de rocha alterada (quartzito), vermelho e amarelo, variegado. Na estaca 08 (eixo) também foi executado um poço a pá e picareta com 1,00m de profundidade, que indicou: de 0,00 a 0,20m uma camada de areia fina, siltosa, com pedregulhos, raízes, cinza clara (expurgo); de 0,20 a 0,40m uma camada de silte areno-argiloso, com pedregulhos, cinza escuro; de 0,40 a 0,70m uma camada de silte areno-argiloso, com pedregulhos, com concreções, vermelho, amarelo e cinza, variegado e entre 0,70m a 1,00m apresentou uma rocha muito alterada, intensamente fraturada, fragmentada, com aspecto de quartzito, de granulometria fina e cor amarela, vermelha e cinza, variegada.

4.3.2 - 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°Az/50° 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 matações de quartzito, soltos e dispersos caoticamente. A rocha tem cor clara, branco-leitosa, com textura maciça e muito raramente acamadada. Na estaca 2 (eixo), foi executado um poço a pá e picareta até a profundidade de 1,40m, onde o topo da rocha não foi encontrado, apresentando-se

entre 0,00 a 0,25m uma camada de silte arenoso, com raízes, cinza escuro (expurgo); de 0,25 a 0,70 uma camada de silte arenoso, com pedregulhos, com seixos angulosos e fragmentados de rocha alterada (quartzito), vermelho e cinza claro, variegado e entre 0,70m a 1,40m silte argiloso com pedregulhos e fragmentos de rocha alterada (quartzito), vermelho e cinza claro, variegado. Na estaca 6 (eixo) e estaca 10 (eixo), também foram executados poços a pá e picareta com as mesmas características, sendo que a camada de silte argiloso supradescrita acontece entre 0,25m a 1,40m.

- ***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 grotta que contribui para o rio Mundaú, ocorre um afloramento de gnaisse 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 rósea, granulação fina a média, intensamente fraturado, com minerais orientados e foliação bem definida, cuja atitude é N28°Az/25°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. A presença deste tipo de rocha representa uma alerta para os fatos já comentados anteriormente. 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. Na estaca 25 (eixo) foi executado um poço a pá e picareta até 1,40m de profundidade, onde indicou entre 0,00 a 0,20m de profundidade uma camada de areia fina, siltosa, com raízes, cinza escura (aluvião) e entre 0,20 e 1,0m de profundidade o solo classificado é composto de areia fina siltosa, homogênea, de cor cinza clara (aluvião).

- **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. Na estaca 29 (eixo) foi executado um poço a pá e picareta com profundidade de 1,20m, apresentando de 0,00 a 0,20 m de profundidade uma camada de areia fina, siltosa, com seixos rolados de quartzo, com raízes, cinza escura (expurgo); de 0,20 a 0,40m uma camada de areia fina, argilosa, com pedregulhos, cinza e amarelo, variegado; 0,40m a 0,80m solo residual de gnaiss com indícios de alteração de rocha, e de 0,80m a 1,20m a rocha é um gnaiss muito alterado, com muito feldspato caulinizado, cinza e amarelo, variegado. Também na estaca 37 (eixo) foi escavado um poço a pá e picareta até 1,30m de profundidade, não sendo encontrado rocha, sendo o material escavado entre 0,00 a 0,20m constituído de areia fina, siltosa, com raízes, cinza escura (expurgo); de 0,20 a 0,70m compreende uma camada de areia fina, argilosa, com pedregulhos, com seixos rolados de quartzo, cinza, amarelo e vermelho, variegado e entre 0,70m a 1,30m constituído de silte argiloso, com pedregulhos e concreções, com indícios de alteração de rocha, amarelo e vermelho, variegado (mosqueado). O furo foi paralizado pela surgência de água proveniente de ombreira, em decorrência de precipitações chuvosas.

4.3.3 - Dique Auxiliar (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). Na estaca 52 (eixo) foi executado um poço a pá e picareta até 1,50m de profundidade, sem ocorrência de rocha, classificado da seguinte forma: 0,00m a 0,20m – areia fina, siltosa, com pedregulhos, com raízes, cinza clara (expurgo); 0,20m a 0,95m – areia fina, siltosa, cinza clara; 0,95m a 1,50m – silte argiloso, com concreções, amarelo e vermelho, variegado (mosqueado). Na estaca 57 (eixo) também foi escavado um poço a pá e picareta, classificado da seguinte forma: 0,00m a 0,10m – areia fina e média, siltosa, com pedregulhos, com raízes, cinza clara (expurgo); 0,10m a 0,60m – areia fina e média, siltosa, com pedregulhos, cinza e amarela variegada. Esse furo foi interrompido a 0,60m de profundidade devido à instabilidade do solo diante da presença de nível d'água decorrente da saturação do terreno ocasionada pelas chuvas. Na estaca 62 o poço a pá e picareta escavado atingiu a profundidade de 1,40m, com surgência de

água, sem encontrar rocha, tendo a seguinte classificação: 0,00m a 0,20m – areia fina, siltosa, com pedregulhos, com raízes, cinza clara (expurgo); 0,20m a 0,95m - areia fina, siltosa, com pedregulhos, cinza; 0,95 a 1,40m – silte argiloso, com pedregulhos e concreções, com seixos rolados e angulosos de quartzo (ϕ até 20 cm), amarelo e vermelho, variegado (mosqueado), com indícios de alteração de rocha (gnaisse) no fundo do furo. Na estaca 67 (eixo) a sondagem a pá e picareta foi paralisada a 0,90m, também com surgência de água proveniente de chuva, e apresentou as seguintes camadas: 0,00m a 0,10m – areia fina, siltosa, com pedregulhos, cinza clara, com raízes (expurgo); 0,10m a 0,40m – areia fina, siltosa, com pedregulhos, cinza; 0,40m a 0,90m – silte argiloso, com pedregulhos e concreções, com seixos rolados e angulosos de quartzo (ϕ até 10 cm), amarelo e vermelho, variegado (mosqueado).

4.3.4 - Diagrama de Fraturas

A partir de 382 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na barragem e no sangradouro, foi elaborado o Diagrama de Fraturas para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura 4.1, se dá segundo N100°Az a N110°Az, representando um percentual de 13,4% do total medido e entre N140°Az a N150°Az, representando 8,2%. O mergulho se dá preferencialmente sub-vertical (70° a 80°) para SW.

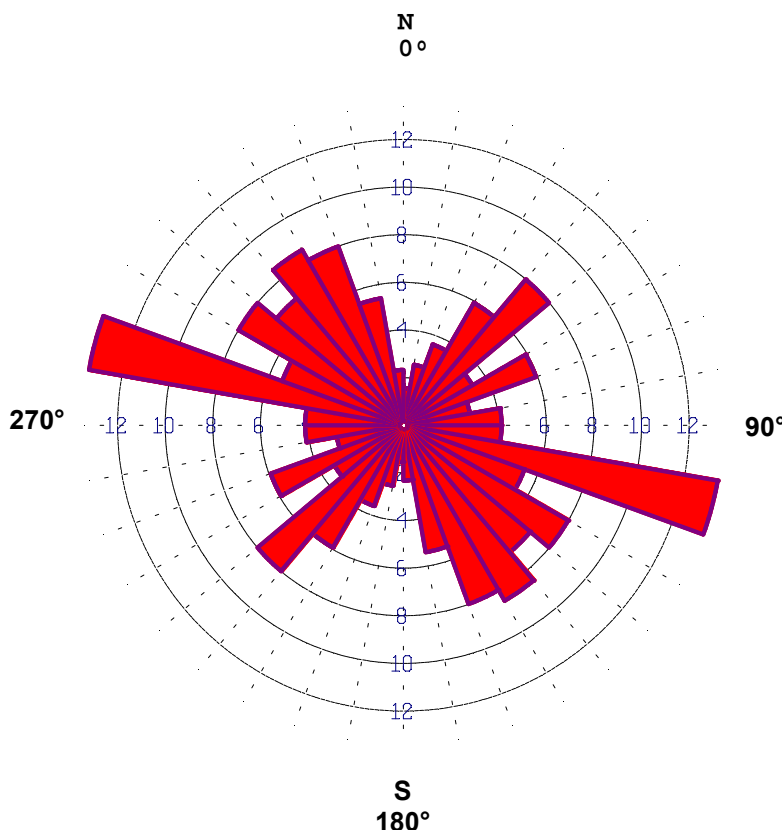


Figura 4.1 - Diagrama de fratura para 382 medidas de direções de fraturas.

São apresentados no Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos, Capítulo 6 – Anexos, 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.

4.4 - INVESTIGAÇÕES DO BARRAMENTO

As investigações geotécnicas realizadas na local da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro, além de economicamente viável.

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, sob o aspecto geomecânico e de transmissibilidade hidráulica, através das sondagens rotativas e ensaios de perda d'água.

Ao longo do eixo barrável foram realizadas 35 sondagens, sendo 10 sondagens a pá e picareta, 19 sondagens à percussão e 06 sondagens mistas.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

A locação das sondagens, bem como os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, são encontrados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.4.1 - Sondagens a Pá e Picareta

As sondagens a pá e picareta distribuídas ao longo do eixo, foram realizadas objetivando o balizamento rochoso abaixo do capeamento dos solos residuais. Todos os poços foram perfurados até o ponto em que a alteração de rocha não mais permitisse a escavação com pá e picareta.

Foram executadas 10 sondagens a pá e picareta perfazendo um total de 12,50m. É apresentado no Quadro 4.1, o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração e estaqueamento.

Quadro 4.1 – Resumo das Sondagens a Pá e Picareta no Sangradouro

Sondagem	Profundidade (m)			Amarração / Estaqueamento
	Solo	Rocha	Total	
SPP-01	1,40	-	1,40	E-02_Ex/OE
SPP-02	1,40	-	1,40	E-06_Ex/OE
SPP-03	1,40	-	1,40	E-10_Ex
SPP-04	1,40	-	1,40	E-25_Ex
SPP-05	1,20	-	1,20	E-29_Ex
SPP-06	1,30	-	1,30	E-37_Ex
SPP-07	1,50	-	1,50	E-52_Ex/OD
SPP-08	0,60	-	0,60	E-57_Ex/OD
SPP-09	1,40	-	1,40	E-62_Ex/OD
SPP-10	0,90	-	0,90	E-67_Ex/OD
Total			12,50	

4.4.2 - Sondagens à Percussão

O objetivo principal destas sondagens foi à definição da espessura dos depósitos aluvionares sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT” (STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado.

Todas as sondagens à percussão foram executadas com diâmetro 2 1/2” polegadas e o critério de paralisação da perfuração foi em função da lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para cada dez minutos de lavagem).

Foram executadas 19 sondagens à percussão no eixo da barragem, a montante e jusante, perfazendo um total de 10,75m. É apresentado a seguir, no Quadro 4.2, o resumo das sondagens, com suas respectivas profundidades, amarração e estaqueamento e o número de ensaios “Le Franc” e de perda d’água “Lugeon”.

Quadro 4.2 – Resumo das Sondagens à Percussão

Sondagem	Ensaio		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SP-15	2		2,15	-	2,15	26,000	E-15_Ex
SP-16	1		1,50	-	1,50	26,500	E-14_Ex/50m M
SP-17			0,00	-	0,00	26,400	E-14_Ex/50m J
SP-18	1		1,66	-	1,66	26,000	E-18+10_Ex/50mM
SP-19	2		3,10	-	3,10	27,000	E-18+10_Ex/50mJ
SP-20	1		1,76	-	1,76	22,000	E-24_Ex/50m M
SP-21	1		2,00	-	2,00	22,000	E-24_Ex/50m J
SP-22	2		3,96	-	3,96	27,100	E-26_Ex/50m M
SP-23	1		1,15	-	1,15	28,400	E-26_Ex/50m J
SP-24	4		7,30	-	7,30	31,900	E-30_Ex/50m M
SP-25	2		2,93	-	2,93	32,000	E-30_Ex/50m J
SP-26	1		0,90		0,90	26,263	E-16_Ex
SP-27	3		3,70		3,70	27,520	E-20_Ex
SP-28			1,45		1,45	28,600	E-15_Ex/200m M
SP-29			1,32		1,32	28,500	E-18_Ex/200m M
SP-30			1,45		1,45	26,800	E-21_Ex/200m M
SP-31			1,32		1,32	28,400	E-15_Ex/300m M
SP-32			0,65		0,65	28,500	E-18_Ex/300m M
SP-33			2,45		2,45	26,800	E-21_Ex/300m M
Total	21				40,75		

4.4.3 - Sondagens Mistas

Foram executadas 06 sondagens mistas, perfazendo um total de 83,50 metros. No Quadro 4.3 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração, estaqueamento e o número de ensaios “Le Franc” e de perda d’água “Lugeon”.

Os trechos de sondagens rotativas foram executados com coroa NX (diâmetro externo: 75,3mm e interno 54,7mm) acoplada a um barrilete duplo giratório com caixa de mola. A sonda utilizada foi uma MACH 920 da Maquesonda de avanço manual. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças - dados que podem ser visualizados nos perfis de sondagens.

As sondagens mistas foram iniciadas pelo método de sondagem a percussão e prosseguidas por sondagens rotativas. A metodologia empregada é a mesma para sondagens a percussão e rotativas.

Quadro 4.3 – Resumo das Sondagens Mistas

Sondagem	Ensaio		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SM-08			0,70	7,30	8,00	37,800	E-01_Ex/OE
SM-10			1,45	11,55	13,00	25,560	E-14_Ex
SM-11	2	5	3,00	15,00	18,00	26,960	E-19_Ex
SM-12	2	4	4,00	12,00	16,00	21,400	E-24_Ex
SM-13	2	2	4,00	6,50	10,50	27,620	E-26_Ex
SM-14	3	3	7,30	10,70	18,00	33,100	E-30_Ex
Total	09	14	20,45	63,05	83,50		

4.4.4 - Ensaio de Campo

Nas sondagens mistas, em trecho de solo, e nas sondagens percussivas foram executados ensaios de infiltração do tipo *Le Franc*, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. No trecho em rocha das sondagens mistas, foram executados ensaios de perda d’água sob pressão (ensaio de Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso.

Os resultados destes ensaios podem ser encontrados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.5 - INVESTIGAÇÕES DO SANGRADOURO

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas.

Ao longo do sangradouro foram realizadas 23 sondagens, sendo 12 sondagens a pá e picareta, 06 sondagens à percussão e 05 sondagens mistas.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

A locação das sondagens, bem como os perfis individuais das sondagens realizadas e seus respectivos ensaios, são encontrados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.5.1 - Sondagens a Pá e Picareta

As sondagens a pá e picareta distribuídas ao longo do sangradouro, foram realizadas objetivando o balizamento rochoso abaixo do capeamento dos solos residuais. Todos os poços foram perfurados até o ponto em que a alteração de rocha não mais permitisse a escavação com pá e picareta.

Foram executadas 12 sondagens a pá e picareta perfazendo um total de 13,30m. É apresentado no Quadro 4.4, o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração e estaqueamento.

Quadro 4.4 – Resumo das Sondagens a Pá e Picareta no Sangradouro

Sondagem	Profundidade (m)			Amarração / Estaqueamento
	Solo	Rocha	Total	
SPP-12	1,00	-	1,00	E-08_S/OE
SPP-13	1,00	-	1,00	E-15_S/OE
SPP-14	1,00	-	1,00	E-15_S/20m J/OE
SPP-15	1,10	-	1,10	E-15_S/40m J/OE
SPP-16	1,30	-	1,30	E-15_S/60m J/OE
SPP-17	1,10	-	1,10	E-15_S/80m J/OE
SPP-18	1,20	-	1,20	E-15_S/100m J/OE
SPP-20	1,50	-	1,50	E-15_S/20m M/OE
SPP-21	1,00	-	1,00	E-15_S/40m M/OE
SPP-22	1,10		1,10	E-15_S/60m M/OE
SPP-23	0,80		0,80	E-15_S/80m M/OE
SPP-24	1,20		1,20	E-15_S/100m M/OE
Total			13,30	

4.5.2 - Sondagens à Percussão

O objetivo principal destas sondagens foi à definição da espessura dos depósitos aluvionares sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT” (STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado.

Todas as sondagens à percussão foram executadas com diâmetro 2 1/2” polegadas e o critério de paralisação da perfuração foi em função da lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para cada dez minutos de lavagem).

Foram executadas 06 sondagens à percussão no sangradouro, perfazendo um total de 10,04m. É apresentado a seguir, no Quadro 4.5, o resumo das sondagens, com suas respectivas profundidades, amarração e estaqueamento.

Quadro 4.5 – Resumo das Sondagens à Percussão no Sangradouro

Sondagem	Ensaio		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le Franc	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SP-01			1,79	-	1,79	36,500	E-06_S/50m M/OE
SP-03			1,00	-	1,00	34,850	E-06_S/50m J/OE
SP-04			1,50	-	1,50	34,500	E-03_S/50m M/OE
SP-06			2,00	-	2,00	33,000	E-03_S/50m J/OE
SP-07			1,90	-	1,90	34,400	E-01_S/50m M/OE
SP-09			1,85	-	1,85	33,900	E-01_S/50m J/OE
Total					10,04		

4.5.3 - Sondagens Mistas

Foram executadas 05 sondagens mistas, perfazendo um total de 37,20 metros. No Quadro 4.5 a seguir, é apresentado o resumo das sondagens com suas respectivas profundidades, amarração, estaqueamento e o número de ensaios “Le Franc” e de perda d’água “Lugeon”.

Os trechos de sondagens rotativas foram executados com coroa NX (diâmetro externo: 75,3mm e interno 54,7mm) acoplada a um barrilete duplo giratório com caixa de mola. A sonda utilizada foi uma MACH 920 da Maquesonda de avanço manual. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças - dados que podem ser visualizados nos perfis de sondagens.

As sondagens mistas foram iniciadas pelo método de sondagem a percussão e prosseguidas por sondagens rotativas. A metodologia empregada é a mesma para sondagens a percussão e rotativas.

Quadro 4.5 – Resumo das Sondagens Mistas no Sangradouro

Sondagem	Ensaio		Profundidade (m)			Cota de Boca	Amarração / Estaqueamento
	Le	Lugeon	Solo	Rocha	Total		
SM-02			1,40	5,60	7,00	37,140	E-06_S/OE
SM-05			1,30	6,20	7,50	36,000	E-03_S/OE
SM-15		1	3,05	6,00	9,05	38,854	E-11_S/OE
SM-16		1	3,20	6,00	9,20	38,677	E-16_S/OE
SM-17		1	1,45	3,00	4,45	36,568	E-14_S/40m J/OE
Total		3	10,40	26,28	37,20		

4.6 - ESTUDOS DOS MATERIAIS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da Barragem Gameleira tiveram início com o reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento para a seleção das ocorrências aproveitáveis, considerando a qualidade e o volume dos materiais disponíveis.

Foram estudadas as seguintes ocorrências:

- Jazida 01 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 130.00,00m² e volume útil de 79.300,00m³;
- Jazida 02 - Material terroso para a construção do maciço, com área igual a 270.000,00m² e volume útil de 278.100,00m³;
- Areal 01 - Areia de rio (Rio Mundaú) que será usada nas transições, filtros, drenos e concretos, com uma área de 27.000,00m² e um volume útil de 40.500,00m³;
- Pedreira 01 - Para a produção de pedra para enrocamento e brita. É uma pedreira de exploração comercial, localizada a 6,00km de distância do eixo da barragem, com volume útil de 90.000,00m³.

As localizações e acessos a todas ocorrências, em relação ao eixo barrável, estão apresentadas em croquis individuais específicos, constantes no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

4.6.1 - Jazidas

As jazidas de materiais terrosos (J 01 e J 02) foram estudadas através de sondagens a pá e picareta, executadas nos vértices de uma malha de 100m x 50m. na Jazida 01 foram executados 41 poços, com um total de 29,00m de sondagem e na Jazida 02 foram executados 70 poços, perfazendo 101,80m de sondagem. Das jazidas foram coletadas amostras para a execução dos seguintes ensaios de laboratório: Granulometria por Peneiramento, Granulometria por Sedimentação, Limites de Consistência, Peso Específico dos Grãos, Umidade Natural e Ensaios de Compactação (Proctor-Normal). Foram realizados ainda os seguintes ensaios especiais: Permeabilidade com Carga Variável e Cisalhamento Direto Lento.

A seguir é apresentado um resumo dos ensaios geotécnicos realizados nas Jazidas 01 e 02. A classificação táctil-visual e os resultados dos ensaios são apresentados no Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

Quadro 4.6 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 01

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS												
		05	08	14	17	19	21	23	25	28	32	35	37	40
Granulometria por Sedimentação	06		X	X		X			X		X		X	
Permeabilidade (Carga Variável)	06		X	X		X			X		X		X	
Cisalhamento Direto	04		X			X					X		X	
Compactação (Proctor Normal)	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	13	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Quadro 4.7 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos Área de Empréstimo - Jazida 02

ENSAIOS	TOTAL	FUROS COLETADOS											
		02	04	06	08	10	12	16	18	20	22	24	27
Granulometria por Sedimentação	09	X		X	X					X		X	
Permeabilidade (Carga Variável)	04	X			X							X	
Cisalhamento Direto	04	X			X							X	
Compactação (Proctor Normal)	27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	27	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Continuação

ENSAIOS	FUROS COLETADOS														
	30	32	35	36	38	41	44	47	50	52	55	57	60	65	68
Granulometria por Sedimentação	X					X			X				X		
Permeabilidade (Carga Variável)													X		
Cisalhamento Direto													X		
Compactação (Proctor Normal)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Liquidez	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Limite Plasticidade	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Granulometria por Peneiramento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

4.6.2 - Areal

No Areal 01 foram coletadas amostras para a classificação táctil-visual e para a realização, em laboratório, de ensaios de Granulometria por Peneiramento e Permeabilidade com Carga Constante. Os resultados dos ensaios realizados estão apresentados nos anexos do Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos. A seguir é apresentado um quadro com o resumo dos ensaios do Areal (Quadro 4.8).

Quadro 4.8 - Resumo dos Ensaios Geotécnicos do Areal 01

ENSAIOS	FUROS COLETADOS			
	01	05	08	10
Granulometria	X	X	X	X
Permeabilidade (Carga Constante)	X	X	X	X

4.6.3 - Pedreira

Para a Pedreira 01 foi coletada uma amostra para a realização do ensaio de Desgaste por Abrasão tipo “Los Angeles”. O resultado deste ensaio está apresentado Volume I – Estudos Básicos, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

5 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

5.1 - 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 5.1 – Caracterização da Bacia

Área da bacia do Açude Gameleira	519,77 km ²
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 5.1 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 hm³.

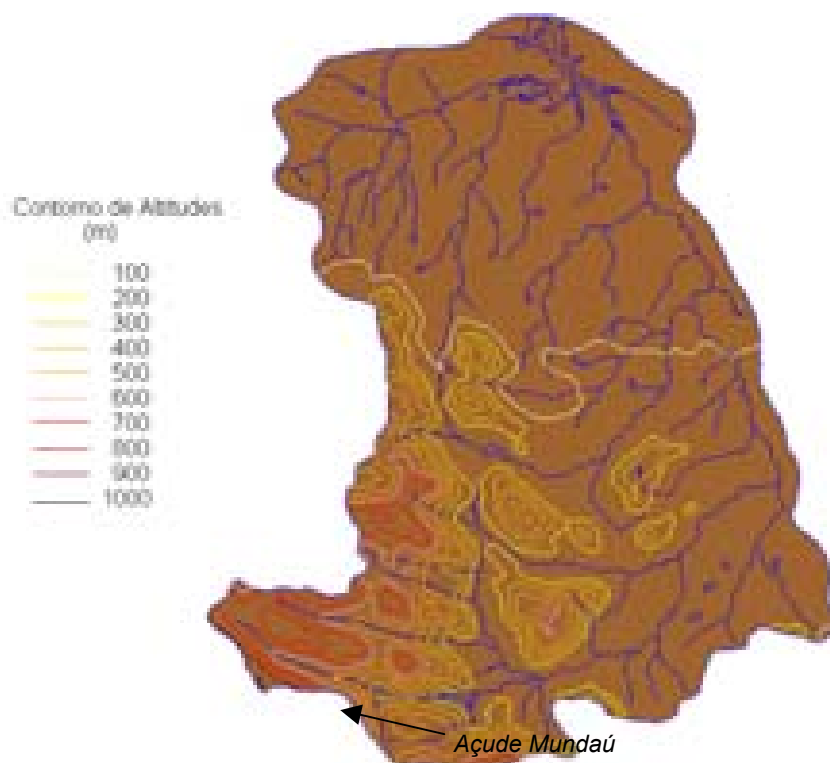


Figura 5.1. Bacia do Açude Gameleira

As definições de solos e cobertura vegetal da área em estudo constituem elementos importantes na formação do regime de escoamento superficial. A cobertura vegetal representa o primeiro obstáculo encontrado pela precipitação e tem papel importante na interceptação e na evapotranspiração. Os solos através da sua capacidade de infiltração, capacidade de retenção de água próximo à superfície e da presença de depressões evaporativas, definem os movimentos das águas que ultrapassaram a cobertura vegetal.

A bacia do Açude Gameleira tem solos Podzólico Vermelho Amarelo e Regosol Distrófico (PE6, PE32 e Red32, respectivamente. Ver Figura 5.2) predominantemente, o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com moderada a elevada capacidade de drenagem (Figura 5.3). 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 5.4). O principal uso é a agricultura de culturas anuais, temporárias e permanentes (Figura 5.5).

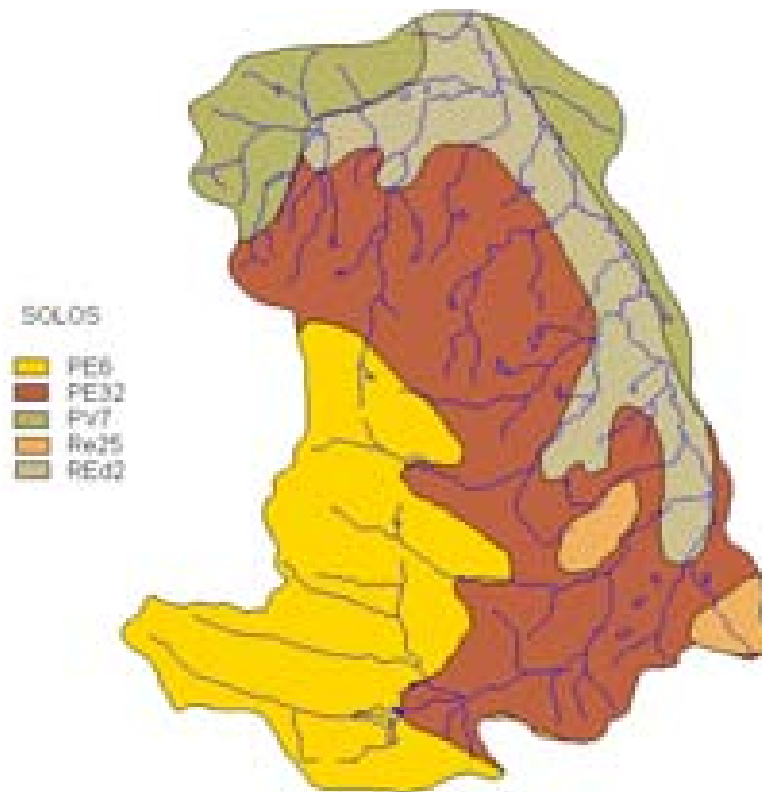


Figura 5.2. Solos da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).

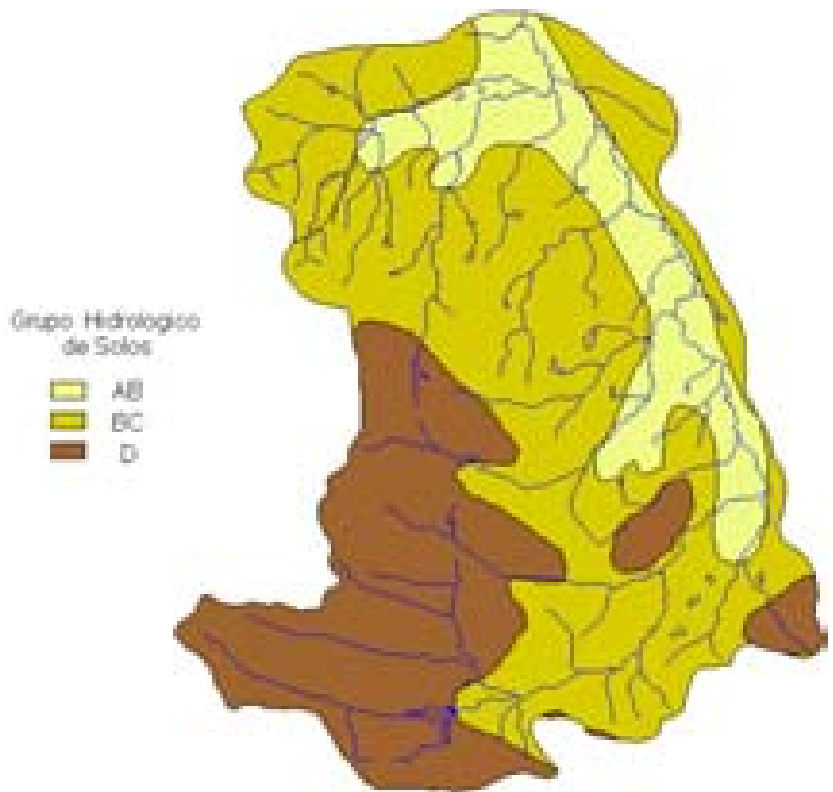


Figura 5.3. Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).



Figura 5.4. Vegetação da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).



Figura 5.5. Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude Gameleira (Fonte: FUNCEME).

5.2 - ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

O rio Mundaú nasce na Serra de Uburetama e tem foz no Oceano Atlântico drenando uma área de 519,77 km². 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 5.2, a seguir, apresenta uma síntese dos indicadores do clima da bacia em estudo.

Quadro 5.2 – Resumo dos Indicadores Climáticos

Pluviometria média anual	1150,5 mm
Evaporação média anual	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'

5.3 - 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 km², além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo. Na estimativa dos dois vetores regionais, um a nível anual e o outro a nível mensal, foram utilizados postos reunidos nos denominados grupos regionais, (PERH, 1990), por apresentarem médias dos totais anuais mais próximas, além de estarem localizados em regiões de pouca variação de altitude.

Inicialmente foi considerado o intervalo anual, para o qual analisou-se as duplas massas entre a pluviometria anual e a série sintética obtida a partir do vetor regional associado. Esta análise permite a identificação de anomalias, ou seja, valores que divergem do padrão, este definido com base na informação de todos os postos pelo princípio da máxima verossimilhança.

A seguir prossegue-se com a análise, a nível mensal, utilizando o vetor regional mensal, buscando os meses que apresentam desvios consideráveis para aqueles anos de desvios consideráveis em relação ao valor sintético, sendo corrigidos os de maior contribuição para o desvio a nível anual. Os valores diários são compatibilizados pelo princípio da desagregação nos meses que sofreram a correção. Para maiores detalhes, consultar o PERH - SRH, 1990 - Relatório Geral - Diagnóstico.

O Quadro 5.3 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 5.3 - Postos utilizados consistidos pelo método do Vetor Regional

Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
GRUPO: PARACURU					
Cemoaba	2861917	1964 -1988	03°27'	39°25'	80
GRUPO: URUBURETAMA					
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)

Uma análise freqüencial foi realizada para os postos do Quadro 5.3, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Log-Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. Apenas o posto 2871109 não apresentou disponibilidade de dados adequada para a referida análise. O Quadro 5.4 resume esta análise de freqüência.

Quadro 5.4 - Análise de Freqüência dos Totais Anuais - Distribuição Log-Pearson III.

Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2861917	24	1975,32	2619,58	2889,04	3159,88	6341,40	7465,03
2870084	49	1604,89	1925,66	2045,63	2159,07	2301,75	2405,58
2871202	44	2082,27	3031,88	3460,88	3905,15	45,18,59	5004,18

No Quadro 5.5 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 5.6 apresenta-se um resumo da análise de freqüência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 1000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Log-Pearson III.

Quadro 5.5 - Índices de Concentração Pluviométrica. Série de Valores Médios Mensais.

Código	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
2861917	MARÇO	342,7	27,7	MAM	819,5	66,2	1	1119,6	90,5
2870084	MARÇO	307,4	27,6	FMA	782,8	70,3	1	1060,4	95,3
2871109	MARÇO	349,2	26,9	FMA	913,8	70,5	1	1206,5	93,0
2871202	MARÇO	322,4	25,9	FMA	804,0	64,6	1	1143,2	91,8

Quadro 5.6 - Análise de Freqüência-Nível Mensal-Distribuição Log-Pearson III.

Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2861917	25	540,04	701,89	768,27	834,30	922,20	989,81
2870084	53	478,83	610,24	661,68	711,43	775,47	823,08
2871202	46	491,82	571,60	598,27	622,03	650,05	669,19

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as freqüências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Log-Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 - Análise de Frequência - Nível Diário-Distribuição Log-Pearson III.

Código	N	Período de Retorno					
		10	50	100	200	500	1000
2861917	25	144,30	188,54	206,69	224,74	248,76	267,24
2870084	51	108,76	137,32	148,79	160,03	174,68	185,71
2871202	44	115,97	180,82	212,47	246,37	294,75	334,11

5.3.1 - Chuvas Intensas

Para projetos de obras hidráulicas em geral é importante a caracterização do regime pluviométrico em intervalos de tempo inferiores a 24 horas. A definição da vazão de projeto, por exemplo de canais integrantes da rede de drenagem, obras d'arte, está vinculada a determinação da relação intensidade-duração-freqüência pluviométrica.

Na área em estudo inexitem registros de pluviógrafos, sendo o aparelho mais comum em estações pluviométricas o pluviômetro, capaz de registrar a “precipitação máxima de 1 dia”. Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade, duração e freqüência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional, tem-se o Método das Isozonas (TORRICO, 1975) , que partindo da transformação da chuva de 1 dia em 24 horas, permite estimar valores para intervalos de menor duração.

A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de menores durações consiste nas seguintes etapas de cálculo descritas a seguir:

1. multiplicar a chuva de um dia por 1,10 para obter-se a chuva pontual de 24 horas;
2. determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica - isozona C para a área em estudo (Figura 5.6);
3. estimar, para os diversos períodos de retorno, a chuva de 1 hora de duração a partir da chuva de 24 horas, através da multiplicação pelo fator R1h;
4. plotar os valores P24h e P1h em papel probabilístico para obtenção de chuvas de durações intermediárias.

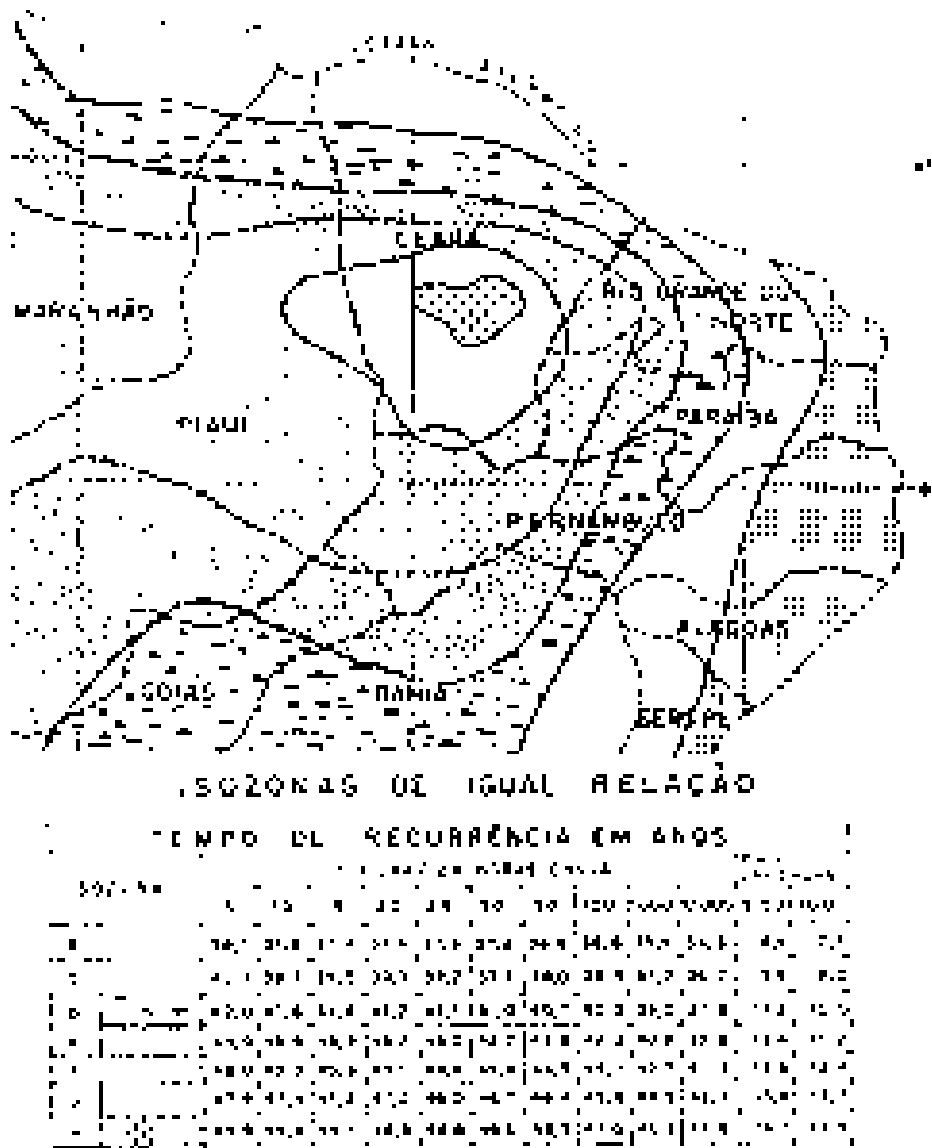
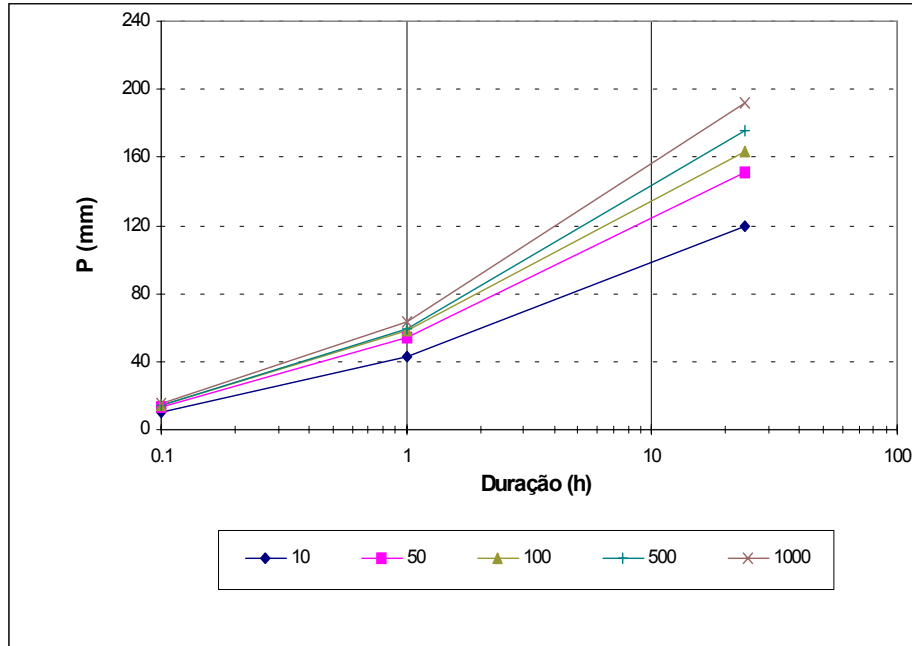


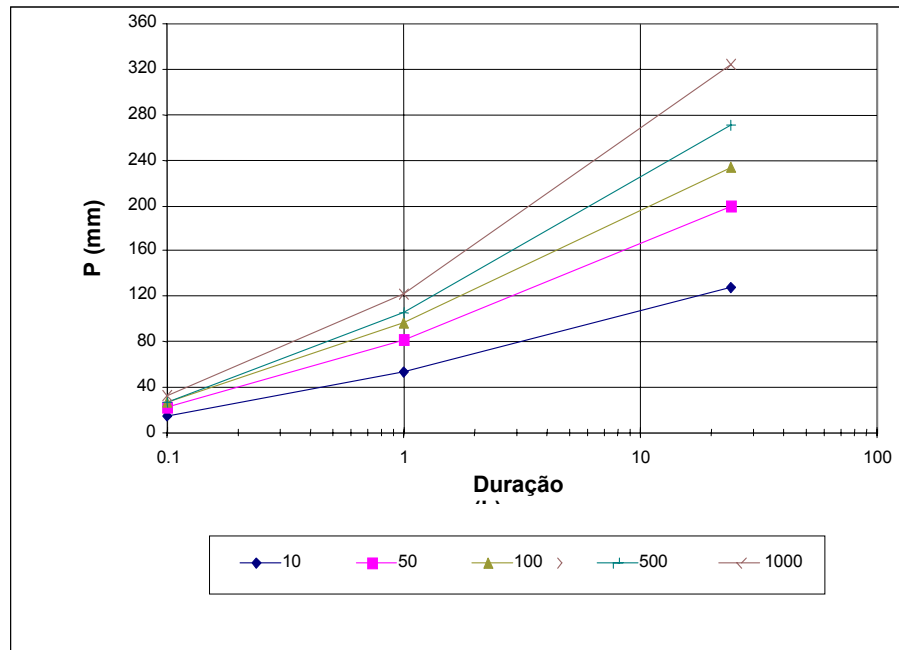
Figura 5.6 – Método das Isozonas de Taborga

O método das isozonas apresenta diferenças bem significativas quando comparado com o método tradicional, conforme mostra Silva, Kern e Henrique (1989), o que sugere que os resultados obtidos pelo método das isozonas sejam observados com certas restrições.

Os postos de Itapipoca (2860084) e Uruburetama (2871202) foram escolhidos para a porção norte e sul da bacia. A Figura 5.7 mostra as curvas intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno.



(a) Itapipoca (2860084)



(b) Uruburetama (2871202)

Figura 5.7 - Curvas Intensidade-Duração-Frequência (Pontual): postos (a) Itapipoca e (b) Uruburetama.

5.4 - ESTUDOS DE CHEIAS

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento do sangradouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) e com base na precipitação (métodos indiretos), estando em ambos os casos associados a um risco previamente escolhido. Diante da escassez de registros históricos de vazões,

é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação. A utilização de métodos diretos ficou impossibilitada diante a inexistência de registros fluviométricos na Bacia Litoral, região hidrográfica que engloba a Bacia do Açude Gameleira.

As relações chuva-deflúvio para a bacia do rio Mundaú foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietogramas de projeto correspondentes a 1000 e a 10000 anos (T_r = tempo de retorno).

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia do Rio Mundaú foi assumido uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas freqüentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtida nos estudos hidroclimatológicos, sendo ajustado à área da bacia usando a seguinte equação:

$$P_A = P_0 \cdot (1 - W \cdot \log(\frac{A}{A_0}))$$

onde $W = 0,15$ (coeficiente regional para zonas áridas e semi-áridas); P_A = Precipitação sobre toda a área; P_0 = Chuva pontual; $A = 519,77 \text{ km}^2$ (área da bacia do Gameleira) e $A = 36,25 \text{ km}^2$ (área da bacia do Açude Mundaú – idf Uruburetama); $A_0 = 25 \text{ km}^2$ (área base para chuva pontual), obtendo-se um fator de redução igual a $0,87 (1 - W \cdot \log(A/A_0))$.

O Quadro 5.8 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 5.8 - 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
Chuva Reduzida – Itapipoca (2860084): Trecho Gameleira-Mundaú								
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
Chuva Reduzida – Uruburetama (2871202): Bacia do Mundaú								
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

O HEC-1 utiliza estes dados para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tormenta (tormenta balanceada). Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos através das equações do HYDRO-35 (National Weather Service, 1977):

$$P_{10min} = 0,41.P_{5min} + 0,59.P_{15min}$$

$$P_{30min} = 0,51.P_{15min} + 0,49.P_{60min}$$

onde P_n é a precipitação para a duração de n minutos.

5.4.1 - Precipitação Efetiva para aplicação do HEC-1

O modelo utilizado pelo HEC-1 refere-se à interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração como perdas de precipitação, ou seja, a parcela da precipitação que não contribui para gerar escoamento é considerada perda, sendo o restante, considerado precipitação efetiva.

O cálculo das perdas de precipitação pode ser usado nos outros componentes do modelo HEC-1, em especial, hidrograma unitário. No caso do hidrograma unitário, estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia).

De maneira geral, existem três metodologias utilizadas para determinação da chuva efetiva: equações de infiltração, índices e relações funcionais. Especificamente, o HEC-1 possibilita o uso de 5 métodos: 1) taxa de perda inicial e uniforme; 2) taxa de perda exponencial; 3) Curva-Número; 4) Holtan; 5) Função de Infiltração Green e Ampt. Foi considerado mais adequado, diante dos dados disponíveis, o método curva número do Soil Conservation Service.

O método Curva Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de 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) condição de umidade antecedente. Para a bacia do Rio Mundaú foi adotado um CN = 75 com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

A equação de escoamento do SCS é dada por:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

Onde Q = escoamento; P = precipitação; S = capacidade máxima de armazenamento do solo; I_a = perdas antes do início do escoamento.

As perdas antes do início do escoamento (I_a) incluem água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação, e infiltração. I_a é altamente variado, mas a partir de dados de pequenas bacias I_a é aproximado pela seguinte relação empírica:

$$I_a = 0,20.S \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1) elimina-se I_a , resultando em:

$$Q = \frac{(P - 0,20.S)^2}{P + 0,80.S}$$

Onde S está relacionado às condições de solo e cobertura através do parâmetro CN por

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{unidades métricas})$$

Onde CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II). Para condições secas (AMC I) e úmidas (AMC III), CNs equivalentes podem ser calculados pelas seguintes fórmulas:

CONDIÇÕES SECAS

$$CN (I) = \frac{4,2.CN(II)}{10 - 0,058.CN(II)}$$

CONDIÇÕES ÚMIDAS

$$CN (III) = \frac{2,3.CN(II)}{10 + 0,13.CN(II)}$$

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas.

Como já mencionado, o CN foi tabelado para diferentes tipos de solos, os quais foram classificados pelo SCS em quatro grupos de solos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com sua taxa de infiltração. Estes quatro grupos são descritos a seguir:

- A - solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. solos arenosos profundos com pouco silte e argilla.
- B - solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundo que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.
- C - solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
- D - solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Desde que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior.

5.4.2 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km², e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T_{LAG} . Este parâmetro, T_{LAG} , é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

O tempo de concentração da bacia foi estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich:

$$T_C = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0.385}$$

Onde T_C = tempo de concentração em minutos; L = comprimento do maior talvegue em km; ΔH = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. Logo, para a bacia do Rio Mundaú tem-se:

Seção Barragem Mundaú: $L = 10,00$ km $\Delta H = 600$ m $S = 60$ m/km
o que resulta $T_C = 1,16$ h ; $T_{LAG} = 0,694$ h.

Seção Barragem Gameleira: $L = 49,00$ km $\Delta H = 161,2$ m $S = 3,29$ m/km
o que resulta $T_C = 12,03$ h; $T_{LAG} = 7,218$ h.

A vazão de pico e o tempo de pico são calculados por:

$$Q_p = 208 \cdot \frac{A}{t_p} \qquad t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{LAG}$$

Onde Q_p = é a vazão de pico (m^3/s), t_p = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km^2 e Δt = o intervalo de cálculo. No quadro 5.9 a seguir estão indicados os dados dos hidrogramas de cheia milenar e decamilenar.

QUADRO 5.9

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

Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-1 utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseado na relação $\Delta t = 0,20 t_p$, não devendo exceder $0,25 t_p$. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas:

$$t_{lag} = 0,60 T_c \qquad e \qquad 1,7 t_p = \Delta t + T_c$$

Onde T_c = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-1 sugere que $\Delta t \leq 0,29 T_{LAG}$. O intervalo escolhido pelo HEC-1 foi de **10 minutos**. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessária uma estimativa do tempo de concentração da bacia. Este tempo de concentração foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich.

As Figuras 5.8 e 5.9 apresentam os hietogramas de projeto (precipitação total) e os hidrogramas afluentes à barragem Gameleira obtidos através do uso do modelo HEC correspondentes aos tempos de retorno 1000 e 10000 anos, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma foi $893 m^3/s$ para o período de retorno de 1000 anos, e $1186.0 m^3/s$ para o período de retorno de 10000 anos.

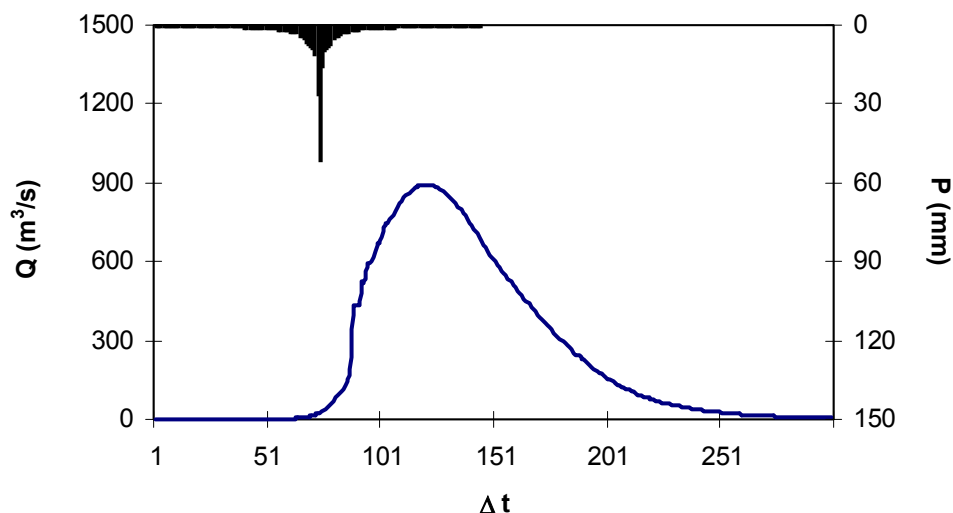


Figura 5.8 - Hidrograma total afluente - Bacia 519.77 km² (Tr = 1.000 anos).

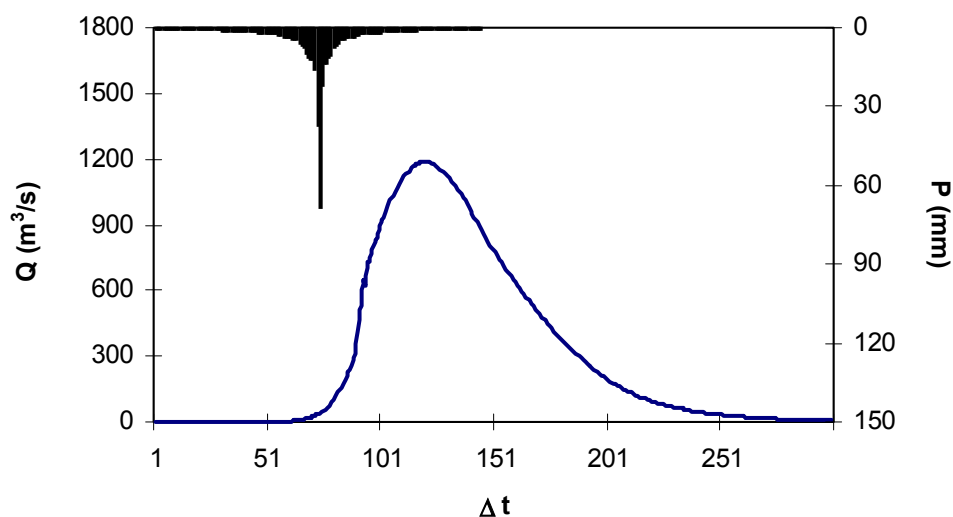


Figura 5.9 - Hidrograma total afluente - Bacia 519.77 km² (Tr = 10.000 anos).

5.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório está ligada ao conhecimento das mudanças temporais e espaciais dos deflúvios naturais, visando o atendimento das demandas da sociedade. Busca-se aqui avaliar o tamanho que deve ser a obra de maneira que ganhos em regularização de águas justifiquem os investimentos a serem realizados.

Na determinação das curvas de regularização 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.

5.5.1 - Resultados

As características do escoamento estabelecidas no PERH (1990) foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber:

- lâmina média escoada: 194 mm
- volume afluente médio escoado (μ): 89,93 hm³

O coeficiente de variação de CV = 1,1 foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995).

Para aplicação dos dois métodos faz-se necessário a determinação do fator de forma α , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. No caso do fator adimensional de capacidade, este é variável uma vez que se pretende analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim, para o açude Gameleira tem-se:

$$\alpha = 12802$$

$$E_L = 0,80 \cdot (158+191+221+225+220+205) = 976 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$f_E = 3\alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0,15,$$

Para o Açude Mundaú (A = 36.25 km²) tem-se

$$\alpha = 401,16$$

$$E_L = 0,80 \cdot (158+191+221+225+220+205) = 976 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$f_E = 3\alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0,099$$

No Quadro 5.10 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados para o Açude Mundaú.

Quadro 5.10 – Volumes evaporado, sangrado e liberado, vazão regularizada com 90% de garantia para o Açude Mundaú.

K (hm ³)	F _k =K/μ	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	Q90 (m ³ /s)	M90 (hm ³ /ano)
21.308	2,05	51,46	5,361	10,72	1,117	37,82	3,940	0,179	5,630

No Quadro 5.11 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K (fator de capacidade = K/μ) para o açude Gameleira. A Figura 5.10 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Gameleira, que nada mais é que a graficação dos valores apresentados no Quadro 5.11.

Quadro 5.11 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Gameleira

Cota (m)	K (hm ³)	fk=K/μ	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	dM/dK	Q90 (m ³ /s)	M90 (hm ³ /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 5.10 e dos dados apresentados no Quadro 5.10 sugere a escolha do volume em torno de 52,642 hm³, 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 hm³/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 m³/s.

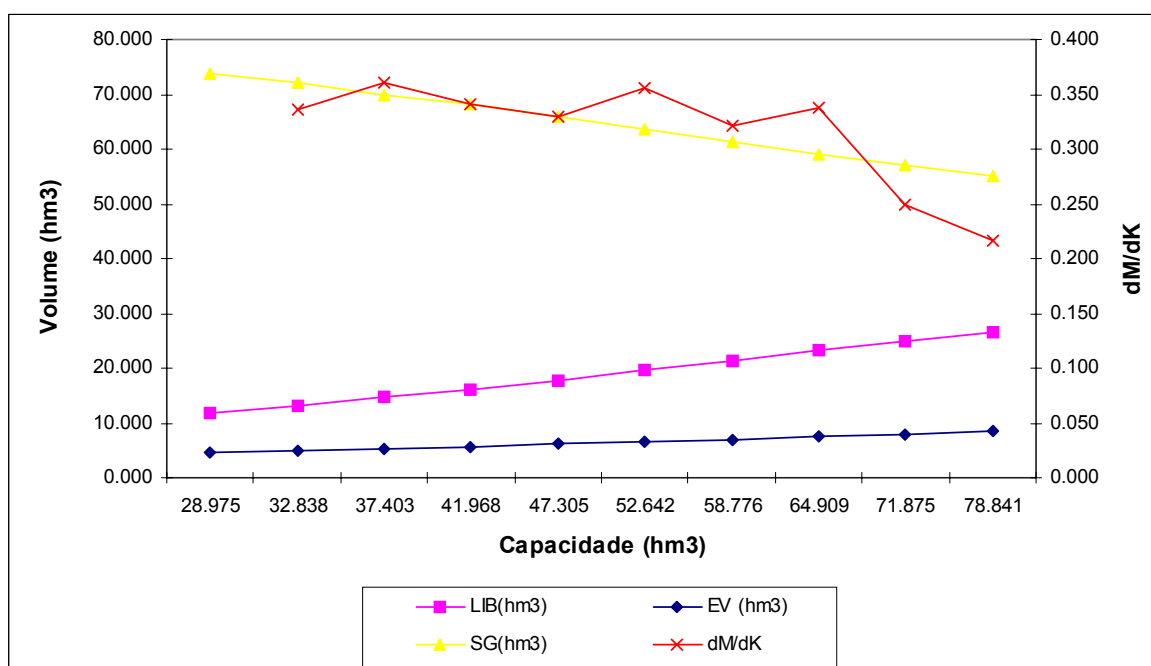


Figura 5.10 - Curvas de Regulação do Reservatório Gameleira – Resolução direta da equação do balanço hídrico.

5.6 - DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO

O item anterior demonstrou que faixa de volumes estudada está bem aquém da hidrológicamente 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 $52,6 \text{ hm}^3$ ($f_K = 0,61$) 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, $20.454 \text{ hm}^3/\text{ano}$, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de $0,649 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.6.1 - Análise econômica

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

- variação do custo anual do m^3 de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos e uma taxa de 8%;
- variação do custo anual do m^3 de água regularizada com 90% de garantia em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos e 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 8.1 mostra que:

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

5.6.2 - Escolha da capacidade do reservatório - Análise hidrológico-econômica

Apesar de tanto o custo anual do m^3 regularizado como também de custo anual do m^3 acumulado terem uma tendência negativa, ao aumentarmos a cota de soleira de 35 para 38 m, existem limitantes topográficas 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 = $52,6 \text{ hm}^3$).

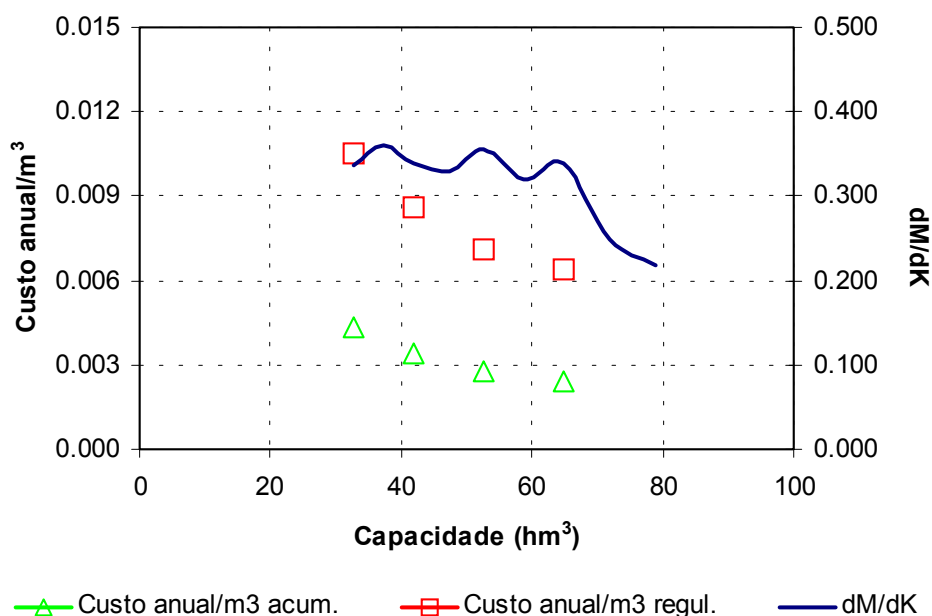


Figura 5.11. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Gameleira.

5.7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

Uma vez realizado o dimensionamento do reservatório com base nos estudos hidrológicos e econômicos do capítulo anterior, faz-se necessário agora o dimensionamento do sangradouro visando definição de sua largura, seu tipo e a cota de coroamento da barragem associada à alternativa adotada.

No dimensionamento do sangradouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1.000 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.

Não havia marcas de cheias históricas no local da barragem, o que impossibilitou o uso desta informação.

Com base nestes princípios, apresenta-se neste capítulo o dimensionamento do sangradouro.

5.7.1 - Propagação da Cheia no Reservatório

Técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios. Este método consiste em uma expressão discretizada da equação de continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento.

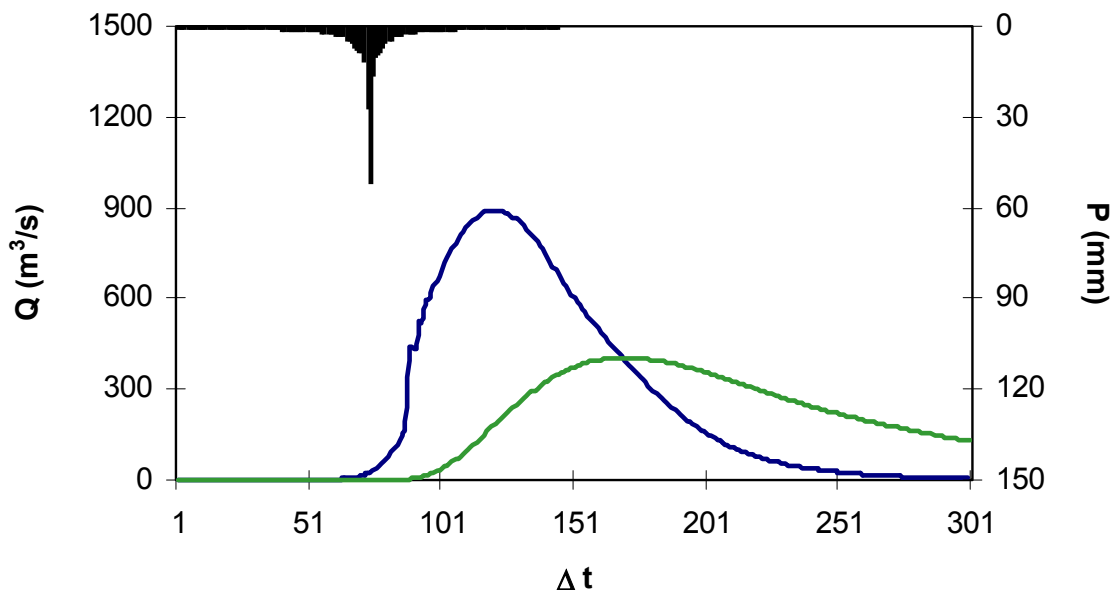
Foram analisadas duas alternativas para o vertedouro, o primeiro escavado em rocha com coeficiente de descarga 1,4, e o outro um perfil Creager com coeficiente de descarga 2,1, ficando suas equações características, respectivamente:

$$Q = 1,4 L (Z - Z_w)^{1.5} \quad \text{e} \quad Q = 2,1 L (Z - Z_w)^{1.5}$$

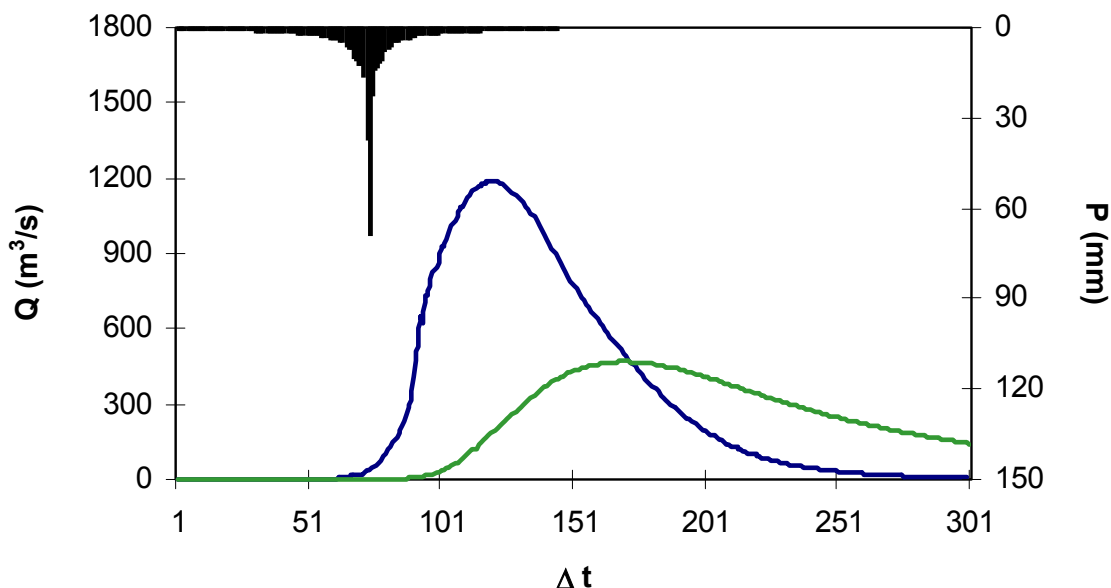
5.7.2 - Resultados

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.

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 no Quadro 5.12, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 5.12 abaixo mostra para o tempo de retorno $T_r=1000$ anos, o hidrograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Gameleira. Os resultados para o tempo de retorno de 10000 anos são apresentados na Figura 5.13.



**Figura 5.12 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Gameleira
 $T_r=1000$ anos. Escavado em Rocha. Cota 37 m. L = 120.**



**Figura 5.13 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Gameleira
Tr=10000 anos. Escavado em Rocha. Cota 37 m. L = 120.**

Quadro 5.12 - Resultado da simulação acima descrita

L (m)	Q _{out} (m ³ /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Escavado em Rocha: Z_w = 37 m			
Tr = 1000 anos - Q_{in} = 893 m3/s			
120	405	38,80	1,80
Tr = 10000 anos - Q_{in} = 1186 m3/s			
120	469	38,98	1,98

L = Largura do Sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluyente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

Para a alternativa em perfil creager, os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 5.13, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 5.14 mostra, para o tempo de retorno Tr=1000 anos, o hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Gameleira. Os resultados para o tempo de retorno de 10.000 anos são apresentados nas Figuras 5.15.

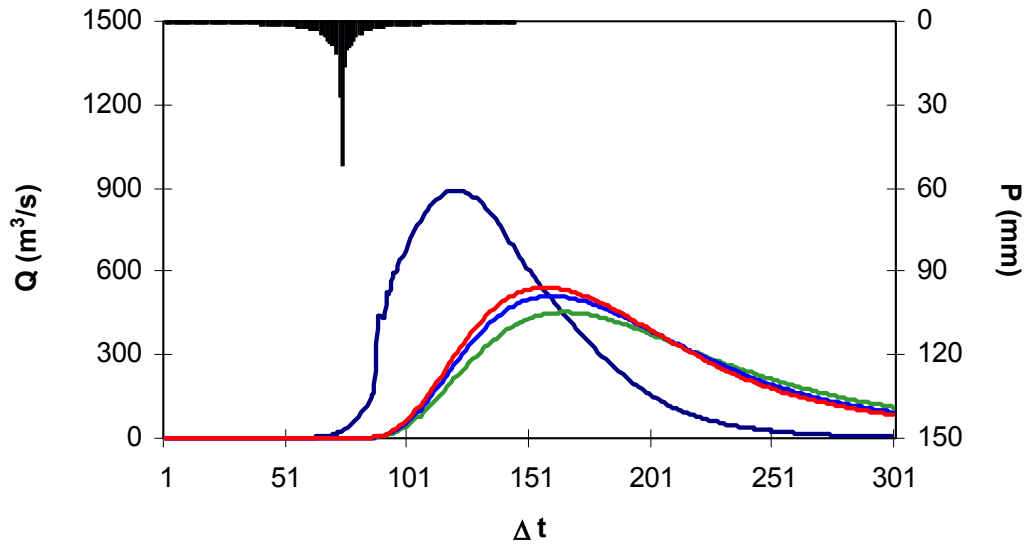


Figura 5.14 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Gameleira - Tr=1.000 anos. Perfil Creager. Cota 37 m. L = 100, 130 e 150.

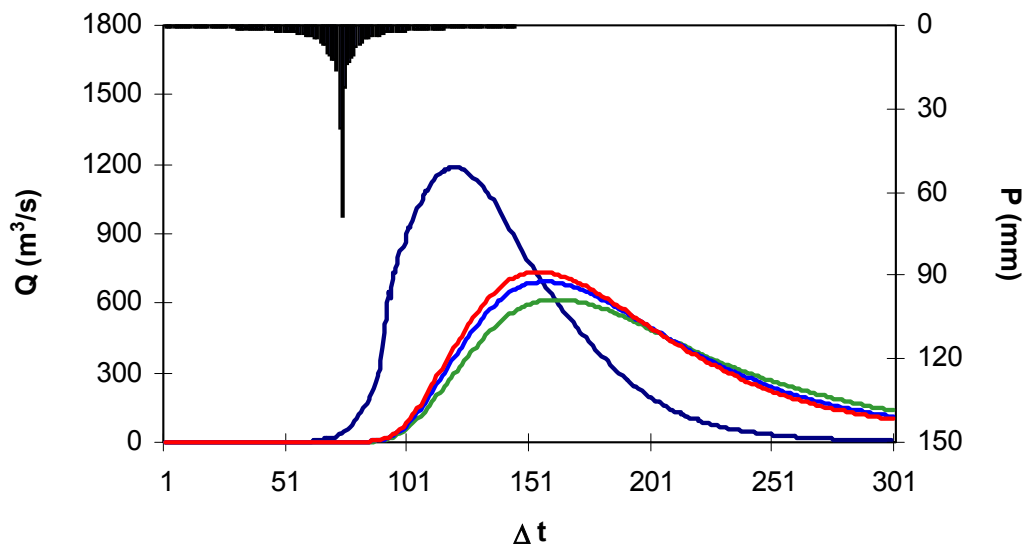


Figura 5.15 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Gameleira - Tr=10.000 anos. Perfil Creager. Cota 37 m. L = 100, 130 e 150.

Quadro 5.13 - Resultado da simulação acima descrita

L (m)	Q _{out} (m ³ /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Perfil Creager: Z_w = 37 m			
Tr = 1000 anos - Q_{in} = 893 m3/s			
100	453	38,7	1,7
130	511	38,5	1,5
150	542	38,4	1,4
Tr = 10000 anos - Q_{in} = 1186 m3/s			
100	616	39,1	2,1
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)