

MÓDULO III PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM JENIPEIRO

VOLUME III – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO

TOMO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

Rev.	Data	Descrição	Por	Ver.	Apr.	Aut.
0	Jun/02	Emissão Inicial	WBSR	JRPB	NKT	NKT
1	Jul/02	Alterações Segundo as Considerações da 39º Reunião do PISB	WBSR	JRPB	NKT	NKT
2	Set/02	Alterações Segundo as Considerações 40º Reunião do PISB	WBSR	JRPB	NKT	NKT
3	Nov/02	Alterações Segundo as Considerações 41º Reunião do PISB	WBSR	JRPB	NKT	NKT
4	Dez/02	Projeto Final com as considerações da 42º Reunião do PISB	WBSR	JRPB	NKT	NKT

ÍNDICE

ÍNDICE

<u>APRESENTAÇÃO</u>	5
<u>1 - INTRODUÇÃO</u>	8
<u>2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO</u>	14
<u>3 - ESTUDOS BÁSICOS</u>	17
<u>3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</u>	18
<u>3.1.1 - Cartografia</u>	18
<u>3.1.2 - Transporte de Coordenadas</u>	20
<u>3.1.3 - Transporte de Cotas</u>	20
<u>3.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</u>	20
<u>3.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica</u>	21
<u>3.1.6 - Levantamento das Jazidas</u>	25
<u>3.1.7 - Apresentação dos Estudos Topográficos</u>	25
<u>3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS</u>	25
<u>3.2.1 - Geologia Regional</u>	26
<u>3.2.2 - Geologia Local</u>	29
<u>3.2.3 - Levantamento Geológico de Superfície</u>	30
<u>3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS</u>	33
<u>3.3.1 - Investigação Geotécnica</u>	34
<u>3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais</u>	36
<u>3.4 - ANÁLISE DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS</u>	38
<u>3.4.1 - Análise dos Estudos Geológicos</u>	38
<u>3.4.2 - Análise das Sondagens</u>	40
<u>3.4.3 - Análise das Ocorrências Estudadas</u>	43
<u>3.5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS</u>	49
<u>3.5.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica</u>	51
<u>3.5.2 - Estudos Hidroclimatológicos</u>	54
<u>3.5.3 - Classificação do Clima</u>	58
<u>3.5.4 - Estudos Pluviométricos</u>	58
<u>3.5.5 - Estudo de Cheias</u>	63
<u>3.5.6 - Curvas de Regulação do Reservatório</u>	65
<u>3.5.7 - Determinação da Capacidade do Reservatório</u>	67

<u>3.5.8 - Dimensionamento do Sangradouro</u>	68
<u>3.5.9 - Estudos Adicionais</u>	70
<u>4 - PROJETO DA BARRAGEM</u>	72
<u>4.1 - ESCOLHA DO EIXO</u>	73
<u>4.2 - CONCEPÇÃO DA BARRAGEM</u>	73
<u>4.2.1 - Caracterização da Fundação</u>	74
<u>4.2.2 - Rebaixamento do Lençol Freático</u>	76
<u>4.2.3 - Geometria da Trincheira de Fundação</u>	76
<u>4.2.4 - Local de Bota-Fora</u>	77
<u>4.2.5 - Maciço da Barragem</u>	77
<u>4.2.6 - Análise de Estabilidade</u>	82
<u>4.2.7 - Estudo de Percolação da Barragem</u>	87
<u>4.2.8 - Análise dos Recalques</u>	88
<u>4.2.9 - Sangradouro</u>	90
<u>4.2.10 - Tomada D'água</u>	116
<u>4.2.11 - Apresentação do Projeto</u>	117
<u>5 - CANTEIRO DE OBRAS</u>	119
<u>6 - CRONOGRAMA FÍSICO</u>	121
<u>7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO</u>	125

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, JENIPEIRO, MARANGUAPE I e MARANGUAPE II e Adutoras 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 Adutoras

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

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 Adustras

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 III – Detalhamento do Projeto Executivo, Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto, e é parte integrante do Módulo III.

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

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

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

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

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

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM JENIPAPEIRO

– **Identificação**

Denominação:Barragem Jenipapeiro
 Estado:..... Ceará
 Município: Baixio
 Sistema:Bacia do Salgado
 Rio Barrado: Rio Jenipapeiro
 Coordenadas UTM (SAD-69)..... Marco M-01 (9.262.457,250N; 528.911,055E)
 Proprietário:Estado do Ceará/SRH
 Autor do Projeto: Consórcio JP-ENG/AGUASOLOS/ESC-TE
 Data do Projeto:Dez/2002

– **Bacia Hidrográfica**

Área: 186,40 km²

Precipitação média anual: 767,80 mm

Evaporação média anual: 1.988,10 mm

– **Características do Reservatório**

Área da bacia hidráulica (cota 260,0m): 836,00 ha

Volume acumulado (cota 260,00 m): 43,40 hm³

Volume afluente médio anual: 17,50 hm³

Volume morto do reservatório (cota 252,00m): 5,07 hm³

Vazão regularizada (90%): 0,143 m³/s

Vazão afluente max. de projeto (TR=1.000anos) 724,20 m³/s

Vazão max. de projeto amortecida (TR=1.000anos) 124,00 m³/s

Vazão afluente max. de verificação (TR=10.000anos) 928,35 m³/s

Vazão max. de verificação amortecida (TR=10.000anos) 171,00 m³/s

Nível d'água máximo normal: 260,00 m

Nível d'água max. maximorum (TR=1.000anos): 261,10 m

Nível d'água max. maximorum (TR=10.000anos): 261,40 m

– **Barragem**

Tipo: Homôgenea de Solo

Altura máxima: 15,40 m

Largura do coroamento: 6,00 m

Extensão pelo coroamento – Barragem Principal (02B+8,83 a 29+3,12): 631,95 m

Extensão pelo coroamento – Barragem Principal (0E+14,56 a 25E+13,86): 499,30 m

Cota do coroamento: 262,70 m

Cota da soleira: 260,00 m

Volume de Escavação (Fundação): 6.500,00 m³

Volume do maciço: 147.500,00 m³

Volume do maciço (Cut-off): 21.500,00 m³

Volume do enrocamento (rip-rap e rock-fill): 12.800,00 m³

Volume de transições:	4.100,00 m ³
Volume de areia (filtro e transições):	13.100,00 m ³
Largura máxima da base:	77,30 m ³
Talude de Montante:	1,0 v: 2,5 h
Talude de Jusante:	1,0 v: 2,0h

– **Barragens Auxiliares**

Barragem Auxiliar BA-01

Tipo:	Homogênea de Solo
Altura Máxima:	3,89 m
Largura do Coroamento:	6,00 m
Extensão pelo Coroamento:	110,50 m
Cota do Coroamento:	262,70 m
Volume de Escavação (Fundação):	1.120,20 m ³
Volume do Maciço:	1.918,30 m ³
Volume de Enrocamento:	456,60 m ³
Volume de Transições:	237,90 m ³
Talude de Montante:	1:2,5 (V:H)
Talude de Jusante:	1:2,0 (V:H)

– **Tomada de Água**

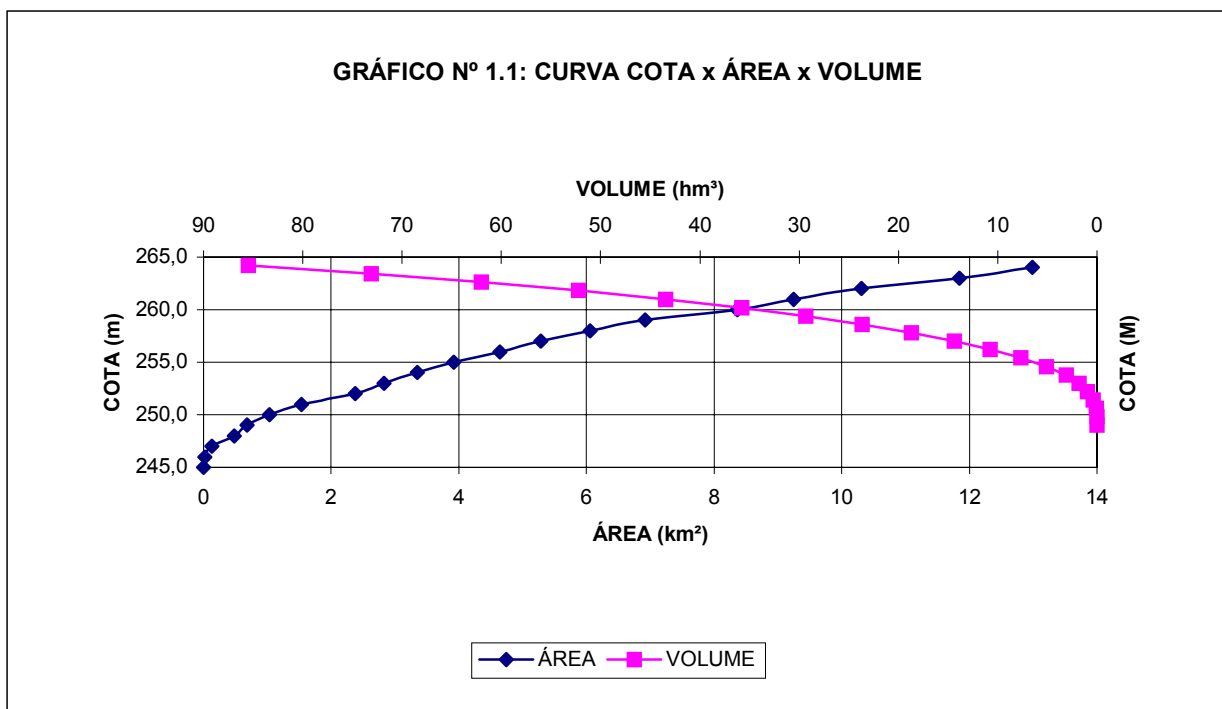
Tipo:	Galeria com controle a jusante em tubo de aço ASTM – A-36
Localização:	Ombreira esquerda estaca 26
Número de condutos:	1 (um)
Diâmetro:	400 mm
Comprimento do conduto:	70,00 m
Cota da geratriz inferior a montante:	El. 251,50 m
Cota da geratriz inferior a jusante:	El. 251,50 m
Volume de escavação:	20.500,00 m ³
Volume de concreto armado:	102,00 m ³
Volume de concreto de regularização:	18,00 m ³
Comprimento total (incluindo entrada e saída):	90,00 m

– **Vertedouro**

Tipo:	Canal escavado em rocha
Largura:	75,00 m
Cota da soleira:	260,00 m
Extensão total do canal:.....	258,63 m
Vazão máxima (Tr=10.000 anos):.....	171,00 m ³ /s
Lâmina máxima Prevista (T.R=1000anos):.....	1,10 m
Lâmina máxima Prevista (T.R=10.000anos):.....	1,40 m
Borda livre:.....	1,30 m
Volume total de escavação:	70.000,00 m ³

Os dados da Curva Cota x Área x Volume são mostrados no Quadro nº 1.1 e a curva é mostrada na Figura nº1.1.

Quadro nº1.1: Curva Cota x Área x Volume			
COTA	AREA (m ²)	VOLUME (m ³)	VOLUME ACUMULADO (m ³)
245,0	0	0	0
246,0	21.137,00	10.568,50	10.568,50
247,0	127.826,00	74.481,50	85.050,00
248,0	479.420,00	303.623,00	388.673,00
249,0	685.680,00	582.550,00	971.223,00
250,0	1.032.290,00	858.985,00	1.830.208,00
251,0	1.538.429,00	1.285.359,50	3.115.567,50
252,0	2.375.188,00	1.956.808,50	5.072.376,00
253,0	2.828.752,00	2.601.970,00	7.674.346,00
254,0	3.348.819,00	3.088.785,50	10.763.131,50
255,0	3.920.216,00	3.634.517,50	14.397.649,00
256,0	4.639.843,00	4.280.029,50	18.677.678,50
257,0	5.289.396,00	4.964.619,50	23.642.298,00
258,0	6.057.099,00	5.673.247,50	29.315.545,50
259,0	6.923.670,00	6.490.384,50	35.805.930,00
260,0	8.363.466,00	7.643.568,00	43.449.498,00
261,0	9.241.653,00	8.802.559,50	52.252.057,50
262,0	10.306.908,00	9.774.280,50	62.026.338,00
263,0	11.839.858,00	11.073.383,00	73.099.721,00
264,0	12.991.499,00	12.415.678,50	85.515.399,50



2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O local do barramento denominado Jenipapeiro, situa-se no riacho Jenipapeiro a jusante da confluência com o riacho Pombas. O local do barramento situa-se no limite dos municípios de Baixio e Umari no Estado do Ceará.

O município de Baixio, situa-se na região de Lavras da Mangabeira, na porção sudeste do estado do Ceará, seus limites são: ao norte - Umari; ao sul - Ipaumirim; ao leste - Estado da Paraíba e ao oeste - Lavras da Mangabeira. A distância rodoviária a Fortaleza é de 427 km e o seu acesso é feito pela BR-116, CE-286 e CE-151.

O município de Umari situa-se na região de Lavras da Mangabeira, na porção sudeste do Estado do Ceará. Limita-se ao norte com Icó, ao sul com Baixio, e ao leste com Triunfo e Santa Helena na Paraíba e ao oeste com Lavras da Mangabeira e Cedro. A distância rodoviária até Fortaleza é de 415 km. O acesso ao município pode ser feito pela BR-116 e CE-284.

O acesso ao eixo barrável, é feito partindo-se de Fortaleza pela rodovia BR-116, até o quilômetro 404, entroncamento com a CE-284. Neste ponto toma-se na direção leste (esquerda) até a cidade de Umari. A partir de Umari segue-se pela rodovia CE-151 (não pavimentada), em direção a Baixio até aproximadamente 6 km onde toma-se a direita por uma estrada carroçável. Percorrendo por essa estrada por mais 5km chega-se ao local do boqueirão na localidade denominada Xique-Xique. (ver Figura 2.1 a seguir).

Mapa de localização fig 2.1

3 - ESTUDOS BÁSICOS

3 – ESTUDOS BÁSICOS

Os estudos básicos consistiram dos estudos topográficos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos, desenvolvidos para subsidiar o Projeto Executivo da Barragem Jenipapeiro.

3.1 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os trabalhos de topografia abrangeram os seguintes serviços:

1. Cartografia;
2. Transporte de coordenadas;
3. Transporte de cotas;
4. Levantamento do eixo barrável e de sangradouro;
5. Levantamento da bacia hidráulica;
6. Levantamento de empréstimos.

3.1.1 - Cartografia

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.

A partir das cartas da SUDENE foi delimitado o contorno da Bacia Hidrográfica que é mostrado na Figura N°3.1 a seguir:

Figura N°3.1

3.1.2 - Transporte de Coordenadas

O transporte de coordenadas teve como ponto de partida o Vértice Boqueirão do IBGE de latitude 06°42'30,1175"S e longitude 38°57'00,5680"W e altitude de 478,70m e chegada no Vértice Pedra Sozinha do IBGE de latitude 06°51'58,0050"S e longitude 38°46'39,1130" e altitude de 574,38m existentes na área em estudo. Foram implantados 06 marcos, M-00 a M-05, que serviram de origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias à elaboração das plantas topográficas. O Quadro nº3.1, a seguir, apresenta as características dos marcos implantados. As medições foram feitas com GPS (Sistema de Posicionamento Global) Trimble 4600LS, de uma frequência com duração de rastreo de 01 hora.

Quadro nº3.1 – Marcos Implantados na Barragem Jenipapeiro				
Ponto	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
	Norte	Este		
Marco M-00	9.262.635,927	527.001,157	38°45'20,20275"W	06°40'14,80328S
Marco M-01	9.262.457,250	528.911,055	38°44'18,33183"W	06°40'20,59026"S
Marco M-02	9.262116,191	527.297,069	38°45'10,89541"W	06°40'31,72412"S
Marco M-03	9.263.045,893	529.045,252	38°44'13,97110"W	06°40'01,41849"S
Marco M-04	9.263.040,999	530.142,474	38°43'38,23382"W	06°40'01,55848"S
Marco M-05	9.262.953,373	530.450,331	38°43'28,20512"W	06°40'04,40649"S

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.

3.1.3 - Transporte de Cotas

O transporte de cotas se fez a partir do marco do IBGE - RN N° 1875R com cota 269,0557 localizada na plataforma da estação ferroviária de Baixio, para o marco 0=HD localizado na ombreira direita da barragem, através de poligonais de nivelamento e de contra-nivelamento levantadas com equipamentos topográficos de precisão compatíveis com os serviços, Nível Wild NAK-1.

A poligonal de contra-nivelamento foi levantada após a execução da poligonal de nivelamento. Estas poligonais são apresentadas nas cadernetas de campo do Volume I – Estudos Básicos, Tomo 4 – Estudos Topográficos.

3.1.4 - Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro

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

Os pontos no eixo barrável foram estaqueados, numerados e cotados a cada 20 metros, podendo ser encontradas estacas intermediárias, onde indicam elementos importantes, tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica,

elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno, etc. Foram instalados marcos topográficos ao longo do eixo barrável para facilitar uma futura relocação.

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. Foram levantados dois canais de fuga para o estudo de implantação do sangradouro, sendo um localizado na ombreira direita, a partir da estaca 22 e um segundo localizado na ombreira esquerda, a partir da estaca 19.

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, podendo ser menor este espaçamento caso o relevo ou outro fator exija maior nível de detalhamento.

Esses levantamentos permitiram a confecção da planta topográfica do boqueirão e sangradouro, com curvas de nível a cada metro, na escala 1:2000 e a confecção do perfil longitudinal do boqueirão e sangradouro, na escala horizontal 1:2000 e na escala vertical 1:200.

3.1.5 - Levantamento da Bacia Hidráulica

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Jenipapeiro, 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 Jenipapeiro.

- 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.

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-se papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

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

▪ Mapeamento Planialtimétrico

Para o apoio básico, foram implantados 06 vértices, monumentalizados por marcos de concreto de formato tronco piramidal medindo 10x12x50 cm, com chapa de bronze no centro do topo e elevado a 10 cm do solo.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Jenipapeiro tivemos na planimetria origem no Vértice Boqueirão do IBGE de latitude 06°42'30,1175" S e longitude 38°57'00,5680" W e altitude de 478,70 m, e chegada no Vértice Pedra Sozinha do IBGE de latitude 06°51'58,0050" S e longitude 38°46'39,1130" e altitude de 574,38 m.

Foram implantados os vértices M-00 a M-05, nivelados geometricamente tendo como origem a RN-1875R com cota 269,0557m e chegada a RN 1876E com cota 272,6990m, ambas do IBGE. A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

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

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

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

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

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

Dos resultados dos estudos realizados pela Empresa BASE é apresentado na Figura N°3.2 a seguir a Bacia Hidráulica da Barragem Jenipapeiro.

Figura N°3.2

3.1.6 - Levantamento das Jazidas

As equipes de estudos geológicos e geotécnicos identificaram e classificaram, como fonte de materiais para construção da barragem, três jazidas de solos, denominadas de J-01, J-02 e J-03, um areal denominado de A-01 e duas pedreiras, denominada de P-01 e P-02, que foram locadas pela equipe de topografia em relação ao eixo da barragem.

3.1.7 - Apresentação dos Estudos Topográficos

No Tomo 6 são apresentados os desenhos relativos aos estudos topográficos da bacia hidráulica, do boqueirão e do sangradouro.

3.2 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

A área em estudo para o projeto da barragem Jenipapeiro fica situada entre os municípios de Ipaumirim, Baixio e Umari, no sul do Estado do Ceará, numa região em que predominam as rochas do embasamento cristalino.

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

- Levantamento bibliográfico dos principais trabalhos geológicos desenvolvidos na região;
- Interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000;
- Mapeamento geológico do eixo barrável e sangradouro através de caminhamentos ao longo do eixo topográfico locado e nas seções transversais a cada 20m, abrangendo uma faixa de 300m, sendo 150m para montante e 150m para jusante;
- Mapeamento geológico da bacia hidráulica através de reconhecimento dos locais possíveis de acesso por veículo de passeio;
- Elaboração de mapa geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala 1:2.000;
- Elaboração de perfil geológico do eixo da barragem e sangradouro em escala horizontal 1:2.000 e escala vertical 1:200;
- Elaboração de mapa geológico da bacia hidráulica em escala 1:10.000.

Para orientação dos perfis de caminhamentos e localização e indicação dos pontos básicos para o estudo em epígrafe, foram utilizados aparelhos de GPS de mão

e bússola, tendo como base cartográfica as plantas topográficas previamente elaboradas.

3.2.1 - Geologia Regional

A descrição da geologia regional para este trabalho 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 Rio Jaguaribe, executado pelo DNPM, em 1979, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Rio Jaguaribe.

Os cursos fluviais são dominados basicamente pelo sistema do Rio Jaguaribe, tendo como seu principal contribuinte, na região, o Rio Salgado, e apresentando uma drenagem dendrítica e densa, devido à elevada impermeabilidade dos terrenos cristalinos que cobrem a maior parte da área em estudo.

O relevo da região é caracterizado por algumas diferenciações resultantes da variação das características litológicas e, parcialmente, devido à tectônica que influi decisivamente na formação de maciços montanhosos. Configura-se de forma dominante um extenso pediplano, profundamente entalhado por erosão diferencial sobre migmatitos, gnaisses, granitos porfiróides e as extensas baixadas de rochas sedimentares. Vários maciços residuais, em geral de gnaisses graníticos e granitóides sobressaem-se na paisagem arrasada. Ao lado das formas elevadas e onduladas de rochas cristalinas, dispõem-se as amplas baixadas dos sedimentos do Grupo Rio do Peixe, cujos limites com o embasamento cristalino são marcados por flancos abruptos ao longo das falhas de abatimento, com desníveis pequenos, formando áreas mais arrasadas.

A geologia da região é marcada principalmente pela ocupação dominante das rochas cristalinas Pré-Cambrianas, encontrando-se também em menor escala, sedimentos cenozóicos e mesozóicos.

As unidades do Pré-Cambriano passaram por intensos processos tectônicos associados a fenômenos de migmatização e granitização que mascaram acentuadamente as estruturas originais das rochas, camuflando as possíveis discordâncias entre os grandes grupamentos litológicos. Por este motivo foi adotado uma divisão litológica para estas unidades estratigraficamente indiferenciadas, conseguindo-se desta forma separar quatro unidades litológicas, a seguir descritas:

- **Complexo Caicó:** é a unidade mais abrangente, caracterizando-se por apresentar uma sequência parametamórfica heterogênea, constituindo uma grande variedade litológica, com elevado grau de cristalinidade, composta de gnaisses diversos intercalados com faixas de

paranfilitos, metarcóseos, quartzitos, calcários cristalinos e migmatitos. Os contatos com as demais unidades podem ser concordantes e discordantes, bruscos ou gradacionais. O estilo de dobramento característico é o desarmônico, com sinformes apertadas e antifomes alargadas. As lineações estruturais variam de direção, podendo acontecer segundo NE-SW, ou segundo N-S, sendo responsável por essa variação as intensas movimentações tectônicas a que foi submetida a área. Os importantes falhamentos transcorrentes que ocorrem na região acarretam o aparecimento de feições cataclásticas. As rochas gnáissicas típicas desta sequência encontram-se frequentemente migmatizadas, com composição variada ocasionando o aparecimento de biotita-gnaisses, muscovita-biotita-gnaisses e hornblenda-biotita-gnaisses. Ocorrem ainda gnaisses e migmatitos homogeneizados com núcleos de nebulitos e anatexitos, em que a lineação é difusa ou inexistente.

- **Rochas Plutônicas Granulares:** As rochas dessa unidade estão encaixadas no Complexo Caicó, possuindo em geral forma alongada segundo a estruturação regional, circundadas pelos alinhamentos estruturais. Agrupam diversos tipos litológicos com características texturais semelhantes, incluindo os granitóides que englobam granitos equigranulares de texturas fina e grosseira (pegmatóide) e os granitos e/ou granodioritos porfiróides; os sienitos e os corpos gabróides, constituindo pequenos corpos de gabros. Com exceção dos gabróides, os demais tipos litológicos desta unidade apresentam composição essencialmente granítica e/ou granodiorítica, contendo biotita e hornblenda, textura porfiróide ou equigranular, com certa orientação dos minerais.
- **Grupo Ceará:** representa uma associação de rochas relacionadas a faixas de baixo e alto grau de metamorfismo (xistos verdes e anfíbolito), constituindo uma sequência ectinítica parametamórfica, com quartzito basal ao qual sobrepõem-se xistos, filitos, gnaisses e níveis de rochas carbonáticas. Sua forma mais comum de ocorrência é a de sinclinais simétricas e reviradas, repousando concordantemente sobre rochas do 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.

O Mesozóico é representado pelos sedimentos cretáceos do Grupo Rio do Peixe.

- **Grupo Rio do Peixe:** distribui-se por diversas bacias de afundamento, com formas de graben a meio-graben. Forma uma sequência padrão que compreende três sub-unidades, da base para o topo: Formação Antenor Navarro, Formação Souza e Formação Rio Piranhas. A Formação Antenor Navarro, essencialmente psamítica, inclui conglomerados brechóides, arenitos conglomeráticos, arenitos finos-médios, siltitos e folhelhos. Sobreposta a esta se encontra a Formação Souza, pelítica, onde predominam arenitos finos, siltitos e folhelhos, incluindo ainda níveis margosos. Finalmente, completando a sequência, tem-se a Formação Rio Piranhas, fundamentalmente psamítica, com domínio de arenitos grosseiros a finos intercalados com níveis sílticos e de folhelhos.

O Cenozóico está representado pelos sedimentos que compõem o Grupo Barreiras, e coberturas Tércio-Quaternárias de natureza colúvio-elúvio-aluvial:

- **Grupo Barreiras:** os sedimentos do Grupo Barreiras estão sub-enquadrados na Formação Moura de idade tércio-quadernária, que é formada por conglomerado polimítico, na base, de matriz arenosa de grã grossa, fracamente diagenizada, mal selecionada e pobremente cimentada por material síltico-arenoso de coloração vermelha a creme, bem como areias de granulação variável de colorações avermelhadas e amarelo-claras, e siltitos vermelhos no topo.
- **Aluviões:** são depósitos sedimentares, de idade quadernária, que se concentram nos leitos e margens dos principais rios, compostos de areias, cascalhos e argilas.

Os aspectos estruturais da região mostram uma grande complexidade de efeitos resultantes da dinâmica de movimentação tectônica de natureza plástica e ruptural. Os grandes falhamentos, essencialmente transcorrentes, com eventuais componentes de abatimento e empurrão, representam as linhas estruturais de rasgamento, destacando-se a falha de Tatajuba, de direção E-W, responsável pela nítida subdivisão da área em dois blocos de comportamento estrutural completamente diverso, com brusca variação nos padrões das linhas estruturais e aparecimento de “drags” sugestivos de movimento dextral. Outros eventos de destaque são a Falha de Orós e a Falha de Jaguaribe, que representam falhamentos transcorrentes de direção NE-SW, com vergamentos na parte sul. A falha de Jaguaribe, de rejeito destrógiro possui extensão total aproximada de 250Km. Ao longo das falhas, são frequentemente encontradas faixas cataclásticas e miloníticas. Através de um intenso processo de

reativação das falhas transcorrentes, responsáveis pelos grandes traços estruturais da área, se deu uma fase tectônica de gravidade posterior, responsável pelo aparecimento de autênticas fossas tectônicas, à semelhança de grabens e meio-grabens, ensejando por sua vez, a formação de típicas bacias de afundamento onde se depositaram, naquele ambiente propício, os sedimentos do Grupo Rio do Peixe.

3.2.2 - Geologia Local

O local escolhido para o eixo da barragem fica situado no município de Baixio, na localidade denominada Sítio Xiquexique, distribuindo-se a bacia hidráulica entre os municípios de Ipaumirim, Umari e Baixio.

A geologia local foi definida a partir de interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000, reforçada pela visita de campo em que foram feitos os caminhamentos ao longo do eixo da barragem e sangradouros e reconhecimento da bacia hidráulica, com utilização de bússola e GPS de mão.

Predominam no local as rochas cristalinas do Pré-Cambriano, classificadas no Complexo Caicó, muitas vezes recortadas pôr veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos filoneanos. Há um predomínio dos gnaisses bandeados, com lentes de anfíbolito e leitos de metarcóseos. Na grande maioria dos afloramentos visualizados a rocha apresenta aspecto cataclástico e milonítico, denunciando os efeitos resultantes dos processos de movimentação tectônica ocorridos na área. Ocorrem com frequência, também, gnaisses-migmatíticos, com estruturas planares bem desenvolvidas, de granulação fina a média, cor cinza, com muitos dobramentos, micro-dobramentos desarmônicos, tendo como constituintes básicos do paleossoma os minerais biotita, quartzo e pouca hornblenda, intercalados com veios ou agregações quartzo-feldspática e pegmatóide que constituem a porção neossomática. Essa disposição entre o paleossoma e o neossoma forma estruturas diversificadas como: estromática, flebítica e dobrada. Os gnaisses miloníticos e migmatíticos são dominantes em toda a área estudada, tanto ao longo do eixo locado como na bacia hidráulica.

A foliação dominante na área está orientada segundo NW-SE, com mergulhos, na sua maioria verticais, e quando subverticais, variando predominantemente entre 60° a 88°, ora para SW, ora para NE.

Na porção Este da bacia hidráulica, à montante do eixo locado, próximo a Umari, mais precisamente na fazenda Sta. Teresinha, há uma área com ocorrências de afloramentos graníticos. Os afloramentos ocorrem algumas vezes como pequenos blocos, espalhados de forma dispersa, com granulação fina a média, cor variando de cinza-clara a rósea, composta essencialmente dos minerais quartzo, feldspatos (plagiocásio e ortoclásio), biotita e muscovita, ocorrendo eventualmente pórfiros de ortoclásio, e exibindo comumente alguma orientação dos minerais. Indo em direção ao

eixo locado, ou seja, de montante para jusante percebe-se uma certa alternância entre ocorrências gnáissicas e graníticas, sugerindo um contato gradacional.

Na porção mais à montante da bacia hidráulica, já bem próximo a Umari, ocorre nitidamente a litologia de composição arenítica pertencente à Formação Antenor Navarro que constitui, segundo o Projeto Rio Jaguaribe, a unidade basal do Grupo Rio do Peixe, fazendo contato com o embasamento através de falha. Os afloramentos visualizados nos cortes da estrada entre Baixio e Umari exibem arenitos de grã fina creme a avermelhado, com leitos finos intercalados de siltitos e argilitos variegados, com acamamento fino de atitude segundo N170°Az/8°NE, e estratificações cruzadas. Em alguns locais mais erodidos são visualizados leitos conglomeráticos contendo concentrações de seixos de quartzo subangulosos e subarredondados, numa matriz arenosa grosseira, mal selecionada com tons creme, cinzento e róseo.

A drenagem local, na área de domínio dos gnaisses, ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas.

A área de ocupação da bacia hidráulica da barragem em estudo está situada entre as feições estruturais de maior destaque da região, conforme já descritas no item Geologia Regional, que são as falhas de Tatajuba, Jaguaribe e Orós, além de ser recortada por uma expressiva falha de empurrão ou inversa, com direção segundo NW-SE. Esse tipo de falhamento caracteriza-se por um eixo principal de tensão essencialmente horizontal, com direção de máximo alívio vertical, possuindo movimento com rejeito de mergulho inverso, resultando na subida de um bloco (A), formado pelo embasamento, em relação ao que desce (B), constituindo a bacia sedimentar onde ocorrem os arenitos. A presença dominante dos gnaisses miloníticos e catacláticos que ocorrem por quase toda a faixa de ocupação do eixo locado e em boa parte da bacia hidráulica é resultante de toda essa movimentação estrutural.

Nas margens do Rio Jenipapeiro e do Riacho das Pombas, se formam os depósitos aluviais, constituídos de areias finas mal selecionadas e silte areno-argiloso de cor cinza clara a escura, sendo muito escassa nas calhas dos rios, a formação de depósitos de areias granulares que se prestem para a utilização de agregados para a obra.

Com relação à disponibilidade de materiais pétreos, a área oferece um grande manancial, facilitando sobremaneira a localização e definição de locais propícios para pedreiras.

3.2.3 - 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.

Ao longo do eixo locado, abrangendo uma faixa de 150m para montante e 150m para jusante foram estudadas as ocorrências e mapeados os principais afloramentos ou as áreas com maior concentração de afloramentos contendo rocha em superfície. Na bacia hidráulica os percursos foram feitos de carro de passeio pelos acessos disponíveis na área, com utilização de GPS de mão para anotação dos pontos visitados.

O eixo topográfico locado, que tem orientação geral segundo NW-SE, está estaqueado em campo a cada 20m, e se subdivide em três segmentos contínuos que incluem duas opções de estudo para sangradouro, nas ombreiras, e a barragem, sendo que a marcação do primeiro trecho, a partir da ombreira direita, em uma das opções para sangradouro, se dá de forma decrescente da direita para a esquerda (Est.25 a Est.00=Est.00 da barragem). No ponto onde fica a Est.17 do sangradouro o eixo sofre uma deflexão, mais a frente na Est.11 do sangradouro tem-se outra deflexão, e na Est.00=Est.00 da barragem o eixo sofre mais uma deflexão e o estaqueamento segue a cada 20 metros crescendo da direita para esquerda (Est.00 a Est.31 +3.00m da barragem). A partir da Est.31 + 3.00m (barragem)=Est.00 (sangradouro) o eixo passa por outra deflexão e inicia-se novo trecho com estaqueamento crescente no mesmo sentido do eixo da barragem, constituindo outra opção de estudo para sangradouro (Est.31=Est.00 a Est.22 + 18,00m). Ao longo desse traçado foram identificadas as seguintes litologias:

- Da Est.25 a Est.00 (sangradouro): o terreno apresenta relevo ondulado, com maior declividade para jusante, e há uma presença marcante de afloramentos. O solo de superfície é silto-arenoso, micáceo, pedregulhoso, de cor avermelhada. Ocorrem vários afloramentos a nível superficial de solo, sendo a rocha classificada como um gnaisse milonítico, de cor cinza, mesocrática, ocasionalmente apresentando tons amarelados resultantes da alteração superficial, bandeada, com foliação bem definida, grã fina a média, muitas vezes apresentando estruturas estromáticas, dobradas e microdobramentos e fraturamentos não muito intensos, com mineralogia composta essencialmente de quartzo, feldspato (plagioclásio e ortoclásio), biotita e hornblenda. Em alguns afloramentos a rocha apresenta-se mais intensamente migmatizada, com diversas estruturas dobradas, inclusive dobras em “S” e dobras em “M”, que indicam forte movimentação tectônica, além da presença de cristais fenoblastos de feldspatos orientados de forma concordante com a foliação e representando indícios de cataclase. Em vários casos a rocha é recortada por veios quartzo-feldspáticos ou pegmatíticos com espessuras de até 10 cm, concordantes com a foliação. Eventualmente ocorrem disseminados na rocha várias pontuações de mineral de cor escura, muitas vezes orientados, podendo ser turmalina (afrisita). A foliação predominante da rocha neste trecho é N120°Az/80°SW, sendo que em muitos casos o mergulho é vertical. Essa medida indica uma direção preferencial segundo NW-SE, praticamente perpendicular ao

fluxo de saída de água por esta opção de sangradouro, representando portanto, uma situação favorável com relação ao sentido preferencial de percolação. Aproximadamente 150 metros à jusante do eixo, nesse trecho, a topografia é plana e o terreno é recoberto por solo silto-areno-argiloso de cor cinza clara, com características de solo elúvio-aluvial. As principais áreas de ocorrências de afloramentos nesse trecho foram delimitadas e estão indicadas em anexo no mapa geológico.

- Da Est.00 a Est.15 (barragem): O terreno se desenvolve com as mesmas características, com declividade suave em direção ao talvegue do rio. Os afloramentos de rocha têm as mesmas características descritas, sendo mais escassos em alguns locais, principalmente para jusante, entre as estacas 7 a 10. Nas áreas onde há escassez de afloramentos o solo tem composição silto-arenosa, de cor avermelhada, recobrendo o substrato rochoso com uma espessura, em média, inferior a 1,00 m.
- Da Est. 15 a Est. 21 (barragem): forma-se um extenso e plano terraço aluvionar, desenvolvendo-se de forma mais ampla pela margem direita, onde o solo é constituído de silte areno-argiloso com granulometria fina e cor cinza-clara a escura. No leito do Rio Jenipapeiro, na Est. 20+15,00m, a 20 metros para jusante ocorrem afloramentos de gnaiss milonítico com foliação N110°Az/Vert., ou seja, neste ponto a foliação da rocha se comporta praticamente perpendicular ao fluxo do leito do rio, com mergulho vertical, numa situação perfeitamente favorável no que diz respeito ao sentido preferencial de percolação. Ainda no leito do rio, na estaca 21, a 140 metros para jusante a rocha aflora nas mesmas condições, com foliação N120°Az/80°SW. Na estaca 20, a 25 metros para montante ocorrem, também no leito do rio, afloramentos de gnaiss milonítico.
- Da Est. 21 a Est.31 + 3,00m (barragem): pela margem esquerda do rio a faixa de aluvião é bem mais delgada, tendo-se logo o ressurgimento da rocha cristalina, com diversos pontos de afloramentos de gnaiss apresentando-se na maioria das vezes milonitizados e algumas vezes bastante migmatizados, com as mesmas características supradescritas.
- Da Est.31 + 3,00m=00 a Est.22 + 18,00m (sangradouro): nesse trecho desenvolve-se a outra alternativa de estudo para o sangradouro. A topografia do terreno ao longo do eixo é plana com declividades para montante e jusante. Os afloramentos ocorrem via de regra ao nível da superfície do solo. Em todo o trecho a rocha apresenta foliação orientada segundo NW-SE, porém com mergulho subvertical para NE. Na Est.8 a 140 metros para jusante, na beira de um açude, ocorrem grandes afloramentos em forma de blocos e lajedos. A rocha em alguns locais tem aspecto de gnaiss, e em outros possui estrutura granítica,

com minerais apresentando uma certa lineação, de cor cinza clara, grã fina a média homogênea, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita.

A partir de 435 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na barragem e nas alternativas de sangradouro, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura 3.3, se dá segundo N30°Az a N40°Az, representando um percentual de 28,06% do total medido e entre N40°Az a N50°Az, representando 18,00%. O mergulho se dá preferencialmente vertical, apresentando também muitos valores subverticais (70° a 80°) para NW.

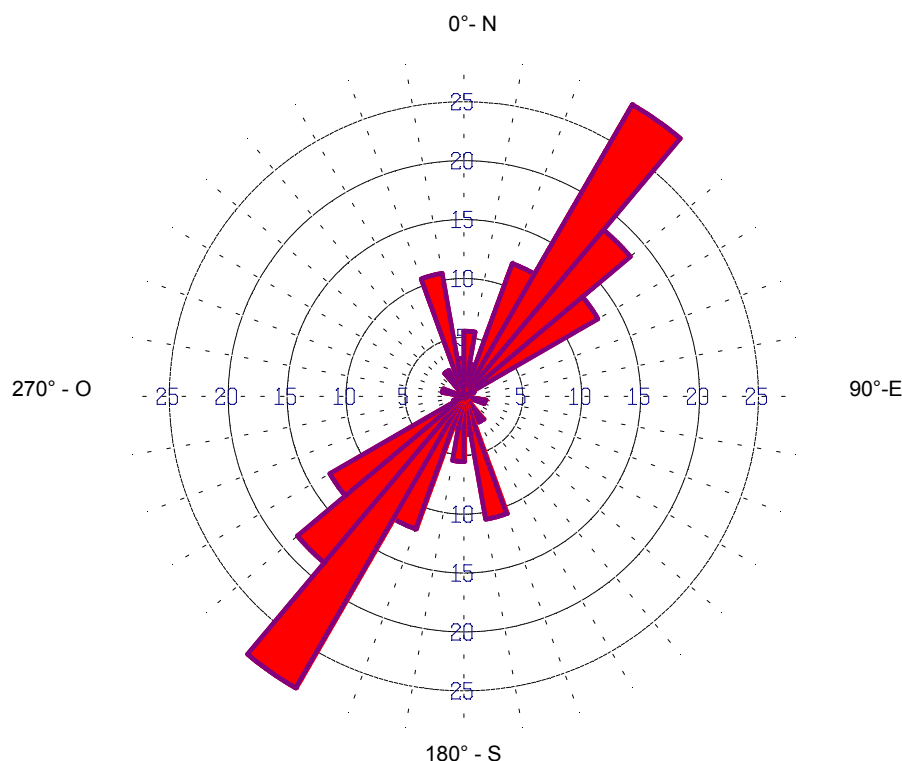


Figura Nº 3.3: Diagrama de Roseta para 435 medidas de direções de fraturas.

3.3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos consistiram na investigação do subsolo no eixo barrável e no eixo do sangradouro e no estudo das ocorrências de materiais para construção. Em função dos resultados destes estudos iniciais poderão ser executadas investigações das propriedades de engenharia destes materiais (da fundação e de construção).

3.3.1 - Investigação Geotécnica

As sondagens mecânicas da barragem Jenipapeiro foram realizadas no eixo barrável e no sangradouro, as quais estão relacionadas no Quadro nº3.2.

Quadro nº3.2: Sondagem à Percussão, Rotativa e Mista – Barragem e Sangradouro		
SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SONDAGEM PERCUSSIVA		
SP-01	14	Deslocada 60m para montante
SP-02	14	Deslocada 120m para montante
SP-03	14	Deslocada 160m para montante
SP-04	16	Deslocada 100m para montante
SP-05	16	Deslocada 200m para montante
SP-06	18	Deslocada 100m para montante
SP-07	18	Deslocada 160m para montante
SP-08	22	Eixo
SP-09	20	Deslocada 200m para montante
SP-10	20	Deslocada 100m para montante
SP-11	21	Eixo Sangradouro
SP-22	04	Eixo da Barragem (antigo)
SP-23	06	Eixo da Barragem (antigo)
SP-24	08	Eixo da Barragem (antigo)
SP-25	10	Eixo longitudinal do boqueirão
SP-26	12	Eixo longitudinal do boqueirão
SP-27	14	Deslocada 40m para montante
SP-29	14	Deslocada 40m para jusante
SP-30	16	Deslocada 40m para montante
SP-32	16	Deslocada 40m para jusante
SP-33	18	Deslocada 40m para montante
SP-35	18	Deslocada 40m para jusante
SP-36	20	Deslocada 40m para montante
SP-38	20	Deslocada 40m para jusante
SP-39	22	Deslocada 40m para montante
SP-41	22	Deslocada 40m para jusante
SP-42	24	Deslocada 40m para montante
SP-44	24	Deslocada 40m para jusante
SP-45	25	Eixo
SP-46	27	Eixo
SP-47	28	Eixo
SONDAGEM ROTATIVA		
SR-01	26	Eixo sangradouro
SR-02	28	Eixo sangradouro
SR-03	30	Eixo sangradouro
SR-04	26	Deslocada 40m para jusante
SR-05	28	Deslocada 40m para montante
SR-06	7 A	Eixo corrigido
SR-07	4 A	Eixo corrigido
SR-08	31+3,00	Eixo barragem

Quadro nº3.2: Sondagem à Percussão, Rotativa e Mista – Barragem e Sangradouro

SONDAGEM Nº	ESTACA	LOCAL
SR-09	12	Eixo
SR-10	30	Eixo
SONDAGEM MISTA		
SM-02	24	Eixo transversal do sangradouro
SM-05	23	Eixo transversal do sangradouro
SM-14	20	Eixo transversal do sangradouro
SM-17	19	Eixo transversal do sangradouro
SM-20	18	Eixo transversal do sangradouro
SM-28	14	Eixo longitudinal do boqueirão
SM-31	16	Eixo longitudinal do boqueirão
SM-34	18	Eixo longitudinal do boqueirão
SM-37	20	Eixo longitudinal do boqueirão
SM-40	22	Eixo longitudinal do boqueirão
SM-43	24	Eixo longitudinal do boqueirão

3.3.1.1 - Metodologia Empregada

Nas sondagens a percussão foram usados dois processos para avanço do furo. Inicialmente foi usado o trado concha de 4”, ao encontra-se o nível d’água ou material impenetrável a esta ferramenta, o furo foi revestido e prosseguido por lavagem até atingir-se por sua vez, material impenetrável a este processo.

Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2” e ‘ 3/8” de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65kg, com altura de queda de 75cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar cada 15cm no terreno, até uma penetração total de 45cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15cm, ou seja, dos 30cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de “Standard Penetration Test (SPT)”.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas com uma sonda rotativa. O processo de execução do furo no trecho percussivo obedeceu as diretrizes descritas anteriormente. As sondagens rotativas foram executadas com coroa NX (diâmetro externo igual a 2,965pol e diâmetro interno igual a 2,155pol) de diamante acoplada a um barrilete giratório com caixa de mola. Para cada operação do barrilete foram registrados a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

3.3.1.2 - Apresentação dos Resultados da Investigação Geotécnica

A locação dos furos de sondagem é apresentada no Tomo 6 do Detalhamento do Projeto Executivo.

Os resultados das investigações geotécnicas são apresentados no Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos, sob a forma de perfis individuais.

A partir dos boletins de sondagem elaborou-se o perfil geotécnico das camadas do subsolo, mostrado no Tomo 6 do Detalhamento do Projeto Executivo.

3.3.2 - Estudos das Ocorrências de Materiais

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas três jazidas de solos, denominadas de J-01, J-02 e J-03, um areal denominado de A-01 e duas pedreiras, denominada de P-01 e P-02.

3.3.2.1 - Jazida

Foram identificadas três jazidas de material terroso para a construção da barragem, denominadas de J-01, J-02 e J-03.

No Quadro nº3.3 são apresentadas as características de cada jazida.

Quadro nº3.3: Características das Jazidas			
Característica	JAZIDA		
	J-01	J-02	J-03
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	1.180,00	1.200,00	2.850,00
ÁREA (m ²)	125.000,00	145.000,00	365.000,00
PROF. MÉDIA (m)	0,40	0,43	0,67
VOLUME ÚTIL (m ³)	50.000,00	62.350,00	244.550,00
VEGETAÇÃO	Rala	Rala	Rala
PROPRIETÁRIO	Gonçalo Bernardino Barros	João P Sales / Gonçalo P Sales	Manoel F Pontes / Raimundo T Gomes
LADO	Direito e Esquerdo	Direito	Direito
ESTACA (Amarração)	12E – Ombreira esquerda	30 – Eixo	30 – Eixo
ESPESSURA MÉDIA DE ESPURGO (m)	0,10	0,10	0,10
QUANTIDADE DE FUROS	39 unid	43 unid	94
MALHA (m)	100 X 50	100 X 50	100 X 50

Nas jazidas de solo foram implantados furos abertos a pá e picareta nos vértices da malha. Nesses furos foram coletadas amostras, as quais foram enviadas ao laboratório e submetidas a ensaios geotécnicos.

Os ensaios de laboratório foram os seguintes:

- Granulometria por Peneiramento.
- Limite de Liquidez.

- Limite de Plasticidade.
- Compactação – Proctor Normal.

No Quadro nº3.4 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro nº3.4: Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Jazidas												
GRANULOMETRIA (% QUE PASSA)								PLASTICIDADE (%)		USC	COMPACTAÇÃO	
JAZIDA	2"	1"	3/8"	Nº 4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	IP		Hot	γ _{máx} (g/cm ³)
J-01	100	100	89	83	79	71	44	34	10	SC	13,6	1,765
J-02	100	97	89	82	72	47	21	33	8	SM	13,4	1,775
J-03	100	100	99	98	93	66	37	32	12	SC	13,8	1,810

3.3.2.2 - Areal

Foi identificado um areal para a construção da barragem no Riacho Pendência, denominado de A-01, apresentado no Quadro nº3.5 a seguir.

Quadro nº3.5: Características do Areal	
Características	Areal A-01
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	9.300,00
ÁREA (m ²)	20.000,00
ESTACA	30 – Eixo
VOLUME ÚTIL (m ³)	24.000,00
PROPRIETÁRIO	Joaquim Pinheiro Sales
PROF. MÉDIA (m)	1,20
NOME DO RIO	Riacho Pendência
LOCALIDADE	Campo

Para o areal foi realizado o ensaio em laboratório de Granulometria por Peneiramento. No Quadro nº3.6 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

Quadro nº3.6: Valores Médios dos Ensaios de Laboratório – Areal												
Granulometria (% que passa)											D _{máx}	M.F
2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº8	Nº16	Nº30	Nº50	Nº100		
100	100	100	100	100	96	87	60	25	7	1	4,8	3,50

3.3.2.3 - Pedreira

Foram identificadas duas pedreiras para a construção da barragem, denominadas de P-01 e P-02.

Para a pedreira foram realizados ensaios em laboratório de Desgaste de Agregado por Abrasão Los Angeles (DNER-ME 35-64). No Quadro nº3.7 são apresentados os valores médios dos ensaios geotécnicos de laboratório.

3.3.2.4 - Apresentação dos Resultados Geotécnicos das Ocorrências

Os resultados dos estudos geotécnicos são apresentados no Volume I, Tomo 5 – Estudos Geológicos e Geotécnicos.

Quadro nº3.7: Características da Pedreira		
Característica	Pedreira P-01	Pedreira P-02
DISTÂNCIA AO CENTRO DA BARRAGEM (m)	655,00	900,00
ÁREA (m ²)	10.000,00	15.000,00
ESTACA (Amarração)	12 – Eixo	12 – Eixo
VOLUME ÚTIL (m ³)	30.000,00	60.000,00
VEGETAÇÃO	Rala	Rala
PROPRIETÁRIO	Joaquim Rolim de Moura	

3.4 - ANÁLISE DOS ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

Nesse capítulo são apresentados os comentários retirados dos estudos geológicos e geotécnicos que foram realizados para servir de suporte ao desenvolvimento do projeto da Barragem Jenipapeiro.

3.4.1 - Análise dos Estudos Geológicos

A área em estudo para o projeto da Barragem Jenipapeiro fica situada numa região com predominância de rochas do embasamento cristalino.

Os cursos fluviais são dominados basicamente pelo sistema do rio Jaguaribe tendo como principal contribuinte, na região, o rio Salgado. A rede de drenagem é dendrítica e densa devido à elevada impermeabilidade dos terrenos cristalinos que cobrem a maior parte da área em estudo.

O relevo da região é caracterizado por algumas diferenciações resultantes da variação das características litológicas e, parcialmente, devido à tectônica que influi decisivamente na formação de maciços montanhosos.

A geologia da região é marcada principalmente pela ocupação dominante das rochas cristalinas Pré-cambrianas, encontrando-se também, em menor escala, sedimentos cenozóicos e mesozóicos.

As unidades do Pré-cambriano passaram por intensos processos tectônicos associadas a fenômeno de migmatização e granitização que mascaram acentuadamente as estruturas originais das rochas, camuflando as possíveis discordâncias entre os grandes grupamento litológicos.

Destacam-se a nível regional as falhas Tatajuba, de direção E-W, responsável pela nítida divisão da área em dois blocos de comportamento estrutural completamente diverso. Além desta, destacam-se, também, a falha de Orós e a falha de Jaguaribe que representam falhamentos transcorrentes de direção NE-SW, com vergamentos na parte sul.

A bacia hidráulica da barragem ocupa áreas dos municípios de Ipaumirim, Umari e Baixio.

Na bacia hidráulica e no eixo da barragem predominam os gnaisses miloníticos e migmatíticos.

A foliação dominante na área está orientada segundo NW-SE com mergulhos na sua maioria verticais e quando subverticais, variando predominantemente entre 60° e 88° ora para SW, ora para NE.

Na porção Este da bacia hidráulica encontram-se ocorrências de afloramentos graníticos.

Na porção mais a montante da bacia hidráulica, já bem próximo a Umari ocorre nitidamente a litologia de composição arenítica pertencente à Formação Antenor Navarro.

Nas margens do rio Jenipapeiro e riacho Pombas se formam os depósitos aluviais, constituídos de areias finas mal selecionadas e silte areno-argiloso de cor cinza clara escura. Nota-se que a formação de depósitos de areias granulares que sirva para utilizar como material para a obra é escasso na calha dos rios.

Com relação à disponibilidade de materiais pétreos, a área oferece um grande manancial, facilitando sobremaneira a localização e definição de locais propícios para pedreiras.

No local do sangradouro o terreno apresenta relevo ondulado, com maior declividade para jusante, e há presença marcante de afloramentos. O solo de superfície é silte arenoso, micáceo, pedregulhoso, de cor avermelhada. Ocorrem vários afloramentos a nível superficial de solo, sendo a rocha classificada como gnaiss milonítico, de cor cinza, mesocrática, ocasionalmente apresentando tons amarelados resultante de alteração superficial.

Na região da barragem, encontra-se entre as estacas 00A e 15A um relevo com declividade suave em direção ao talvegue do rio. Os afloramentos de rocha tem as

mesmas características do local do sangradouro, sendo mais escassos em alguns locais, principalmente para jusante, entre as estacas 7 e 10. Nas áreas onde há escassez de afloramentos o solo tem composição silto-arenoso, de cor avermelhada, recobrimdo o substrato rochoso com espessura, em média, inferior a 1,00m.

Entre as estacas 15 e 21, forma-se um extenso e plano terraço aluvionar, desenvolvendo-se de forma mais ampla pela margem direita, onde o solo é constituído de silte areno-argiloso com granulometria fina e cor cinza-clara. No leito do rio Jenipapeiro, na estaca 20+15,0m, a 20,00m para jusante ocorrem afloramentos de gnaisse milonítico.

Da estaca 21 a 31+3,00m, pela margem esquerda do rio a faixa de aluvião é bem mais delgada, tendo-se logo o ressurgimento da rocha cristalina.

Finalmente entre as estacas 31+3,00m=00 e 33 pela a ombreira esquerda do barramento, esse local foi inicialmente visto como possibilidade de sangradouro. A topografia ao longo do eixo é plana com declividade para montante e jusante. Os afloramentos ocorrem via de regra ao nível da superfície do solo. Em todo o trecho a rocha apresenta foliação orientada segundo NW-SE, porém com mergulho subvertical para NE.

3.4.2 - Análise das Sondagens

Durante as investigações geotécnicas da barragem e sangradouro foram realizadas 40 sondagens a pá e picareta, 31 sondagens a percussão, 10 sondagens rotativa e 11 sondagens mista.

A investigação do sangradouro foi realizada com a execução de 13 sondagens a pá e picareta mais duas sondagens a percussão SP-08 e SP-11 e dez sondagens feitas com sonda rotativa.

Examinando os perfis dessas sondagens verifica-se a existência da formação rochosa a poucos metros da superfície. As sondagens a pá e picareta tiveram profundidades variando de 0,65 a 1,30m e foi encontrado no horizonte superior de 0,00 a 0,50m solos do tipo argila areno siltosa ou silte areno argiloso e no segundo horizonte, de 0,50m ao final do furo, silte arenoso micáceo caracterizando o solo residual.

A sondagem SP-11 na estaca 21 apresentou o impenetrável com 0,60m. Foi encontrado nesse horizonte argila arenosa cinza caracterizando o solo residual. Já a sondagem SP-08 na estaca 22 impenetrou na superfície não sendo nem colhida amostra, ou seja, apresentou rocha na superfície.

Já as sondagens executadas pelo processo misto, ou seja, iniciada a percussão e prosseguido por sonda rotativa, ou pelo processo rotativo, apresentaram na camada superficial, com profundidade variando de 0,90m a 2,00m, solos formados por argila arenosa com pedregulhos (solo residual) e depois de ser encontrado o impenetrável à ferramenta percussiva prosseguiu-se com sonda rotativa diâmetro $\phi = NX$ (75,3mm). Esses furos foram executados com profundidade variando de 4,50m a 8,50m. A rocha dominante é migmatito cinza clara que apresenta RQD abaixo da cota 258 da ordem de 80% que classifica o maciço rochoso como bom. Isto é bem adequado para fundar um sangradouro.

Prosseguindo sobre o eixo levantado chega-se a ombreira direita do barramento entre as estacas 3B a 00B=00A, 00A a 10A=10 e 10 a 12. Nesse segmento foram executadas sete sondagens a pá e picareta, quatro sondagens a percussão e duas sondagens rotativa.

As informações tirada dos poços a pá e picareta indicam a mesma formação encontrada no sangradouro, ou seja, uma camada de solo pouco profunda indicando a presença de rocha próximo da superfície. Esta formação foi confirmada, também, nas sondagens a percussão executadas nesse segmento. Finalmente a presença da rocha foi detectada nas sondagens rotativa 4A e 7A. Destaca-se que nesses furos foram encontrados gnaisse migmatítico com RQD da ordem de 70%. Nesses furos, que tem cerca de 8,0m, foram executados ensaios de perda d'água em dois segmentos por furo. Em todos eles a perda d'água específica obtida foi nula o que demonstra o baixo grau de fraturamento da rocha. Concluído as considerações sobre a ombreira direita verifica-se que o cut-off da barragem nesse trecho terá profundidade da ordem de 1,0 metro e o fundo do cut-off estará assente sobre solo residual ou o topo rochoso.

Entre as estacas 12 e 28 situa-se a região denominada de calha do rio. Nesse local o barramento tem as maiores seções e as preocupações com a fundação e trincheira da impermeabilização são redobradas em virtude da maior carga hidráulica. Esse local foi sondado por meio de sondagens a percussão e sondagens mista. Foram executadas 24 sondagens a percussão e oito sondagens mista. As sondagens mista foram executadas no eixo da barragem nas estacas 14, 16, 18, 20, 22 e 24. Destas sondagens as quatro primeiras estão situadas na região principal da calha, o trecho a percussão varia de 8,0 a 12,0m e são encontradas inicialmente uma camada de silte arenoso compacto com espessura de 1,85m a 3,0m. Os SPT'S nessa camada são em geral superior a 13 golpes e tem suporte suficiente para receber os espaldares. Abaixo dessa camada é encontrada uma areia média e grossa com pedregulhos com espessura variando de 0,70m a 3,35m. Os SPT'S são maiores que 23 golpes. Finalmente abaixo da camada de areia é encontrado silte com pedregulhos cinza que é o solo residual, essa camada vai até o topo rochoso e tem espessura variando de 3,20m a 7,0m. O nível d'água está mais ou menos a 4,0m de profundidade.

Nesse estrato de solo foram realizados vários ensaios de infiltração tipo “Le Franc”. Os resultados obtidos mostram que permeabilidade desse maciço de solo é da ordem de $2,0 \times 10^{-5}$ cm/s.

Após ter sido encontrado o impenetrável as sondagens foram prosseguidas com sonda rotativa. A profundidade atingida variou de 18,70m a 22,10m. A rocha encontrada nas quatro sondagens foi migmatito cinza com RQD variando de zero a 80%. Em cada uma das sondagens foram executados no trecho em rocha vários ensaios de perda d’água em rocha tipo “Lugeon”. Examinando os resultados desses ensaios verifica-se que a perda específica máxima obtida foi da ordem 0,81l/min/m/atm. Essa perda específica não é excepcional entretanto é recomendável um programa mínimo de injeção.

Caminhando mais para a ombreira esquerda encontra-se as sondagens SM-40 e SM-43 que já mostram que esse região a partir da estaca 22 apresenta um padrão semelhante ao da ombreira direita, ou seja, região fora do vale, com uma camada pouco espessa de solo sobre o maciço rochoso. Nessas sondagens as espessura de solo são da ordem de 2,0m. Na sondagem SM-40 foi encontrado argila arenosa com pedregulhos e na sondagem SM-43 foi encontrado areia siltosa com pedregulhos de 0,00 a 0,85m e argila arenosa siltosa com pedregulhos (solo residual) de 0,80 a 1,85m.

Após ser encontrado o impenetrável os furos foram prosseguidos com sonda rotativa até a profundidade de 12,40m na sondagem SM-40 e 11,85m na sondagem SM-43. A rocha encontrada é do mesmo tipo da rocha do furos do vale, ou seja, migmatito cinza. Nesses dois furos foram realizados um ensaio de infiltração no SM-40 que apresentou uma permeabilidade de $1,50 \times 10^{-6}$ cm/s e três ensaios de perda d’água sendo um no furo SM-40 e dois no SM-43. Esses ensaios apresentaram perda específica d’água nula.

Na investigação do vale foram executados 24 sondagens a percussão. Esses furos foram executados a montante e jusante do eixo barrável. Novamente concentrando a análise dos furos executados nas seções das estacas 14, 16, 18 e 20 que bem define a região do vale do rio. Na estaca 14 foram executados cinco furos SP-29 a jusante e SP-27, SP-01, SP-02 e SP-03 a montante. Examinando essas sondagens verifica-se que as profundidades atingidas nas sondagens variaram de 2,50m no furo SP-03, localizado a 160,00m a montante, a 10,70m no furo SP-27 localizado a 40,00m a montante do eixo. Nesse furo o nível d’água foi encontrado a 3,0 metros de profundidade e as camadas de solo encontrada são constituídas de areia fina e média siltosa de 0,00m a 1,90m, argila siltosa média cinza de 1,90m a 2,20m, areia média siltosa de 2,20m a 3,85m, e areia grossa com pedregulhos de 3,85 a 10,70m. Verificou-se ainda, que nesse furo os SPT’S são baixo variando de 4 a 11 golpes. A perfuração não foi até o impenetrável e os ensaios de infiltração realizados

nesse furo indicam permeabilidade da ordem de 10^{-4} cm/s. No furo SP-01 executado a 80,00 m a montante com 8,70m de profundidade foram atravessada seis camadas de solo formadas de silte arenoso, argila siltosa, areia grossa, argila arenosa e areia siltosa. O nível d'água foi encontrado a 2,45m de profundidade. Foram executadas quatro ensaios de infiltração obtendo-se permeabilidade da ordem de 10^{-4} cm/s. Deve-se notar que no ensaio realizado na camada de areia grossa, siltosa com pedregulhos entre 6,70m e 8,30m a permeabilidade encontrada foi de $3,21 \times 10^{-3}$ cm/s. Essa permeabilidade é bastante elevada e portanto a linha do cut-off deve sempre ficar dentro do solo residual.

As sondagens realizadas nas seções das estacas 16 e 18 são semelhantes à da estaca 14, o que caracteriza bem a calha do rio. As sondagens realizadas nas seções das estacas 20, 22, 24, 25, 26 e 27 mostram a mudança gradativa da saída da calha do rio, onde foram encontrados solos com maior profundidade e sedimentos, para uma região de solos rasos e rocha mais superficial que é a característica geotécnica local das áreas fora dos aluviões.

Da mesma forma como foi encontrado na ombreira direita, solos bem raso com presença de solo residual a profundidades abaixo de 2,0 metros, encontrou-se também, na ombreira esquerda o mesmo padrão geotécnico. Essa ombreira foi investigada através da execução de dez sondagens a pá e picareta e três sondagens rotativa, SR-08, SR-09 e SR-10. A rocha encontrada nessas sondagens é do tipo migmatítico cinza claro. Em cada sondagem foi realizado dois ensaios de perda d'água. Todos eles apresentaram perda específica nula, o que mostra que o maciço rochoso é pouco fraturado, confirmando o grau de fraturamento encontrado nas sondagens, da ordem de cinco fraturas por metro. Nessa ombreira pode se dizer que não há necessidade de injeções.

3.4.3 - Análise das Ocorrências Estudadas

Para construção da barragem foram estudadas três jazidas de solos areno argiloso J-01, J-02 e J-03, um areal A-01 para ser utilizado nas obras de concreto e sistema de drenagem e duas pedreiras P-01 e P-02.

Nos materiais das jazidas foram executados os seguintes ensaios de laboratório:

- Granulometria (por peneiramento);
- Granulometria (por sedimentação);
- Limite de Liquidez;

- Limite de Plasticidade;
- Compactação;
- Permeabilidade com Carga Variável;
- Cisalhamento Direto.

As jazida J-01 e J-02 tiveram ensaios realizados em dez amostras de cada. Já a Jazida J-03 os ensaios foram realizados sobre 21 amostras coletadas.

No areal foram realizados os seguintes ensaios:

- Granulometria (por peneiramento);
- Permeabilidade (com carga constante).

No areal os ensaios foram realizados sobre dez amostras.

Nas pedreiras P-01 e P-02 foram coletadas três amostras para realização de ensaios tipo Desgaste por Abrasão Tipo “Los Angeles”.

Examinando os resultados dos ensaios realizados nas amostras da Jazida J-01 pode se dizer o seguinte:

- Os solos da Jazida J-01 tem valores médio de:
 - $LL=35\%$;
 - $IP=10\%$;
 - $h_{ótima}=13,07\%$;
 - $\gamma_{s \text{ Max}}=1,779 \text{ tf/m}^3$.
- O enquadramento desse solo na Classificação Unificada USC indica que ele é do tipo SC (argila arenosa) os solos desse grupo tem segundo Sherard* as seguintes características:
 - São impermeáveis;

- Tem alta resistência ao pipping;
 - Tem de alta a média resistência ao cisalhamento;
 - Boa trabalhabilidade.
- Os ensaios de permeabilidade mostraram que os solos da jazida J-01 quando compactados próximo da umidade ótima tem permeabilidade média de $7,35 \times 10^{-7}$ cm/s;
 - Examinando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto pode se adotar os seguintes parâmetros efetivos para esses solos $C' = 12$ kPa e $\phi' = 30^\circ$;
 - No campo, a densidade natural da jazida J-01 foi verificada em quatro pontos obtendo os seguintes valores médios:

- $h_{in situ} = 3,97\%$
- $\gamma_{in situ} = 1,459$ tf/m³

Examinando os resultados dos ensaios realizados nas amostras da jazida J-02 pode se dizer o seguinte:

- Os solos da jazida J-02 tem valores médios de limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade ótima e massa específica aparente seca máxima dados por:
- $LL = 32\%$;
 - $IP = 10\%$;
 - $h_{ótima} = 13,73\%$
 - $\gamma_s \text{ máx} = 1,785$ tf/m³
- O enquadramento dos solos da jazida J-02 na Classificação Unificada USC mostra que eles são de dois tipo SM (silte arenoso) e SC (argila arenosa). Segundo SHERARD os solos do tipo SM e SC,

quando compactados próximo da umidade ótima, apresentam as seguinte propriedades:

SOLOS SM

- Variam de impermeável a semi-impermeável;
- Tem média resistência ao piping;
- Tem alta resistência ao cisalhamento;
- Apresentam de boa a muito boa trabalhabilidade.

SOLOS SC

- São impermeáveis;
 - Tem alta resistência ao piping;
 - Tem de alta a média resistência ao cisalhamento;
 - Tem boa trabalhabilidade.
- Os ensaios de permeabilidade com carga variável mostraram que os solos da jazida J-02, quando compactados próximo da umidade ótima, tem permeabilidade média de $8,4 \times 10^{-7}$ cm/s.
 - Examinando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, pode se adotar os seguintes parâmetros efetivos para esses solos $C' = 10 \text{ kPa}$ e $\phi' = 30^\circ$.
 - No campo, a densidade natural foi verificada em quatro pontos, sendo obtido os seguintes valores médios:
 - $h_{\text{in situ}} = 3,87\%$
 - $\gamma_{\text{in situ}} = 1,451 \text{ tf/m}^3$

Examinando os resultados dos ensaios realizados nas amostras da jazida J-03 pode se dizer o seguinte:

- Os solos da jazida J-03 tem valores médios de limite de liquidez, índice de plasticidade, umidade ótima e massa específica aparente seca máxima dados por:
 - $LL=32\%$;
 - $IP=11\%$;
 - $h_{ótima}=13,35\%$;
 - $\gamma_{s \max}=1,791 \text{ tf/m}^3$.
- O enquadramento dos solos da jazida J-03 na Classificação Unificada USC mostra que eles são de dois tipos SC (argila arenosa) e SM (silte arenoso). A dominância da jazida é dos solos SC.

Segundo SHERARD os solos do tipo SM e SC, quando compactados próximo da umidade ótima, apresentam as seguintes propriedades:

SOLOS SM

- Variam de impermeável a semi-impermeável;
- Tem média resistência ao piping;
- Tem alta resistência ao cisalhamento;
- Apresentam de boa a muito boa trabalhabilidade.

SOLOS SC

- São impermeáveis;
- Tem alta resistência ao piping;
- Tem de alta a média resistência ao cisalhamento;
- Tem boa trabalhabilidade.

- Os ensaios de permeabilidade com carga variável mostraram que os solos da jazida J-03, quando compactados próximo da umidade ótima, tem permeabilidade média de $7,6 \times 10^{-7}$ cm/s.
- Examinando os resultados dos ensaios de cisalhamento direto, pode se adotar os seguintes parâmetros efetivos para esses solos $C' = 12 \text{ kPa}$ e $\phi' = 30^\circ$.
- No campo, a densidade natural foi verificada em oito pontos da ocorrência, sendo obtido os seguintes valores médio:
 - $h_{\text{ótima}} = 3,63\%$;
 - $\gamma_{\text{in situ}} = 1,455 \text{ tf/m}^3$.

No Areal A-01 foram realizados ensaios de permeabilidade e de granulometria. Examinando os resultados desses ensaios pode se fazer as seguintes afirmações:

- As amostras coletadas apresentaram diâmetro máximo de 4,8mm;
- O módulo de finura médio é de $MF = 3,02$. As areias com módulo de finura nesse valor são classificadas como médias;
- A percentagem passando na peneira nº 200 é menor que 2% o que caracteriza uma areia limpa, isenta de material pulverulento;
- A permeabilidade média da areia é de $7,9 \times 10^{-3}$ cm/s. Areias com essa permeabilidade são adequadas para utilização com filtro.

Nas pedreiras P-01 e P-02, foram coletadas três amostras que foram submetidas ao ensaio de Desgaste Por Abrasão tipo Los Angeles. Os resultados encontrados foram os seguintes:

- Amostra-01 – 31%;
- Amostra-02 – 32%;
- Amostra-03 – 27%.

Pedreira com “Los Angeles” dessa ordem são considerada adequadas para fornecer produtos de britagens para a barragem.

3.5 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos tiveram como objetivo o conhecimento dos fenômenos hidroclimatológicos da bacia hidrográfica e que são diretamente relacionados com o processo de regularização de vazões. Este relatório contém os elementos necessários à tomada de decisão sobre o porte da barragem e suas obras complementares, abordando os seguintes tópicos:

- Caracterização Física da Bacia Hidrográfica
- Caracterização Climática da Bacia Hidrográfica
- Regime Pluviométrico da Bacia Hidrográfica
- Regime Fluvial e o Dimensionamento do Reservatório
- Regime Fluvial Médio
- Emprego de Metodologias
- Dimensionamento do Vertedor

O Quadro nº3.8 a seguir, apresenta um sumário técnico dos estudos hidrológicos da bacia hidrográfica da barragem Jenipapeiro.

Quadro nº3.8 - Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos

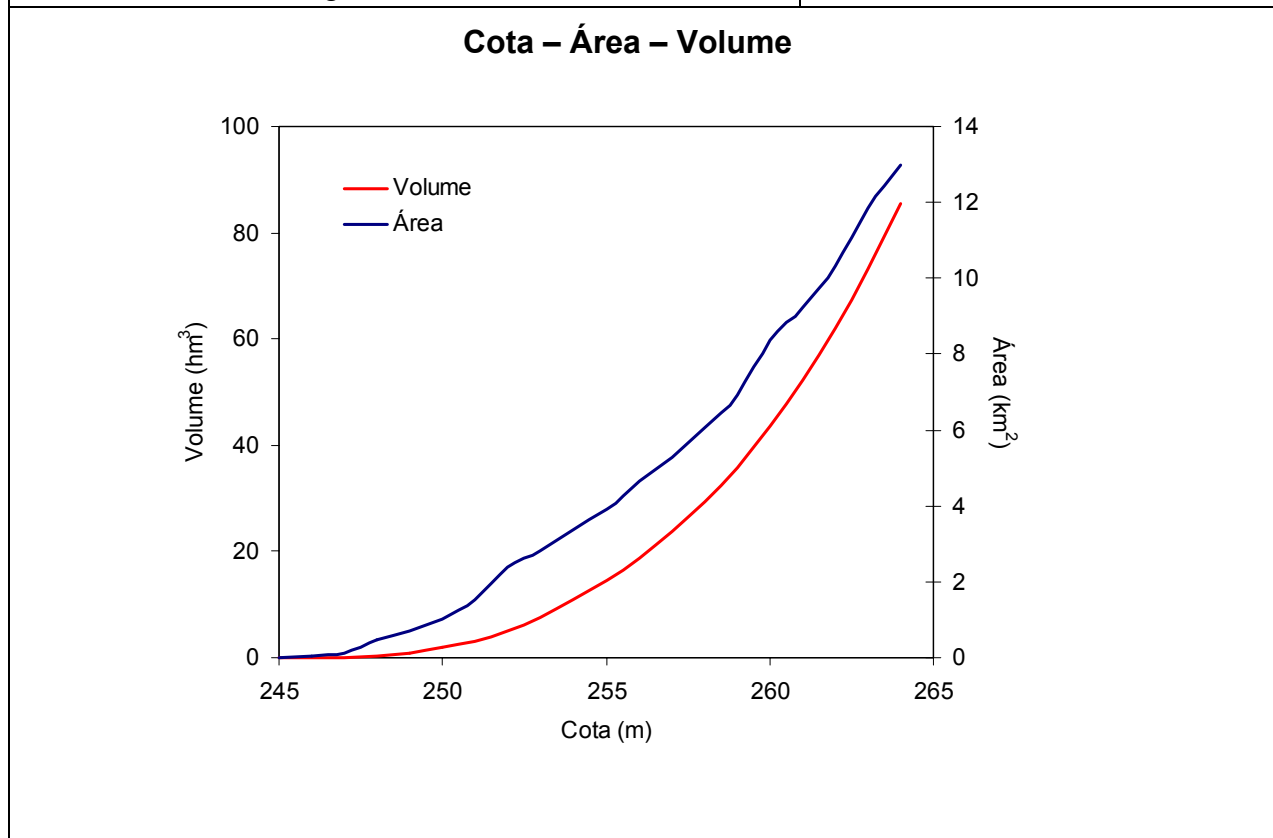
Caracterização da Bacia	
Área da bacia do Açude Jenipapeiro	186,4 km ²
Perímetro da bacia do Açude Jenipapeiro	74,2 km
Declividade média da bacia do Açude Jenipapeiro	18 m/km
Comprimento do rio principal	27,8 km
Fator de compacidade	1,53
Fator de forma	0,03
Tempo de concentração	4,05 hrs

Hidroclimatologia	
Pluviometria média anual	767,8 mm
Evaporação média anual	1988,1 mm
Evapotranspiração potencial (Hargreaves)	1905,0 mm
Insolação média anual	2897,6 h
Umidade relativa média anual	61,8 %
Temperatura média anual: média das máximas	31,7
Temperatura média anual: média das médias	25,6
Temperatura média anual: média das mínimas	20,3

Classificação climática segundo Köppen	BWx'
Classificação climática segundo Thornthwaite	DdA'a'

Estudo de Cheias	
Precipitação efetiva	SCS
Propagação do escoamento na bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	80
Vazão afluyente – tempo de retorno = 1000 anos	724,20 m ³ /s
Vazão afluyente – tempo de retorno = 10000 anos	928,35 m ³ /s

Capacidade do Reservatório	
Cota da soleira do sangradouro	260 m
Custo anual do m ³ armazenado	0,006 R\$/ano
Custo anual do m ³ regularizado	0,059 R\$/ano



Capacidade de Regularização			
<i>Resolução Direta da Equação do Balanço Hídrico – Cota 260 m</i>			
Regularizado (hm ³ - %)	Sangrado (hm ³ - %)	Evaporado (hm ³ - %)	Qr 90% (m ³ /s)
4,281 – 24,4%	6,397 – 36,5%	6,685 – 38,15%	0,143
<i>Diagrama Triangular de Regularização – Cota 260 m</i>			
4,375 – 25,0%	6,475 – 37,0%	6,650 – 38,0%	0,139

Dimensionamento do Sangradouro - Perfil Creager: $Z_w = 260,0$ m			
Largura (m)	Q_{out} (m^3/s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Tr = 1000 anos - $Q_{in} = 724,20$ m^3/s			
50	124,0	261,1	1,1
70	157,0	261,0	1,0
90	187,0	261,0	1,0
Tr = 10000 anos - $Q_{in} = 928,35$ m^3/s			
50	171,0	261,4	1,4
70	219,0	261,3	1,3
90	260,0	261,2	1,2

Estudos Adicionais	
<i>Probabilidade Esvaziamento/Enchimento</i>	
Probabilidade de esvaziamento associada à vazão com 90% de garantia	9,2%
Probabilidade de enchimento associada à vazão com 90% de garantia	26,1%
<i>Assoreamento</i>	
Volume final após 100 anos de simulação	39,3 hm^3
% assoreado	9,5%
Descarga sólida média	57866 t/ano

3.5.1 - Caracterização Física da Bacia Hidrográfica

A bacia do Açude Jenipapeiro abrange uma área de 186,4 km^2 , um perímetro de 74,2 km, uma declividade média de 18 m/km e um comprimento do curso principal de 27,8 km, um fator de forma (k_f) de 0,03 e um fator de compacidade (k_c) de 1,53.

A Figura 3.4 mostra a altimetria da bacia do Açude Jenipapeiro e a Figura 3.5 mostra os municípios que compõem a bacia: Baixio, Icó e Umari.

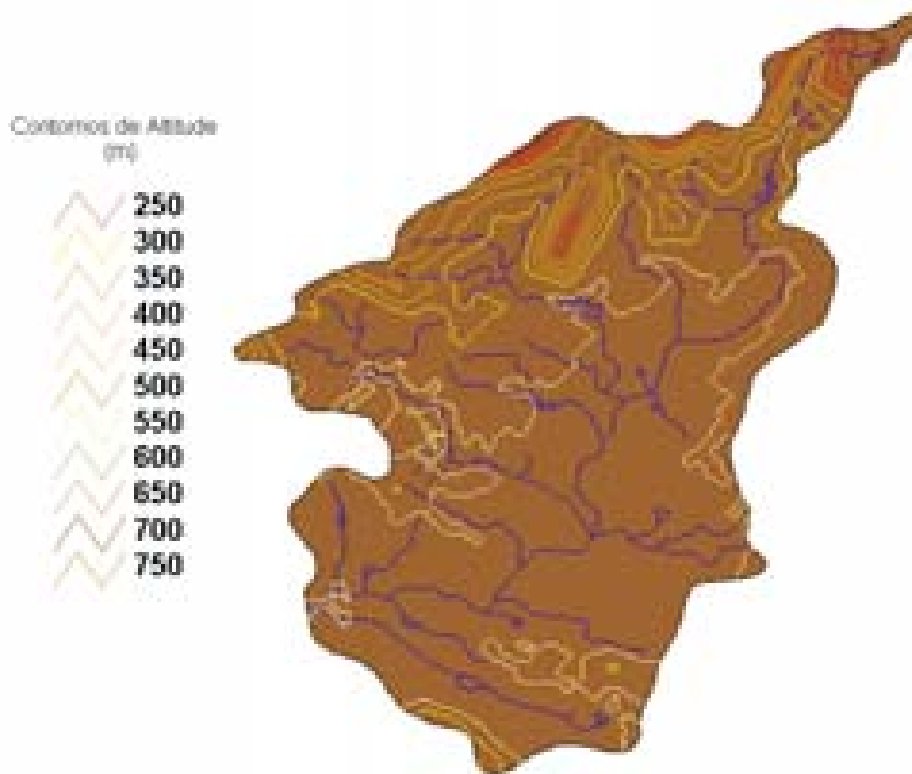


Figura 3.4 - Bacia do Açude Jenipapeiro.

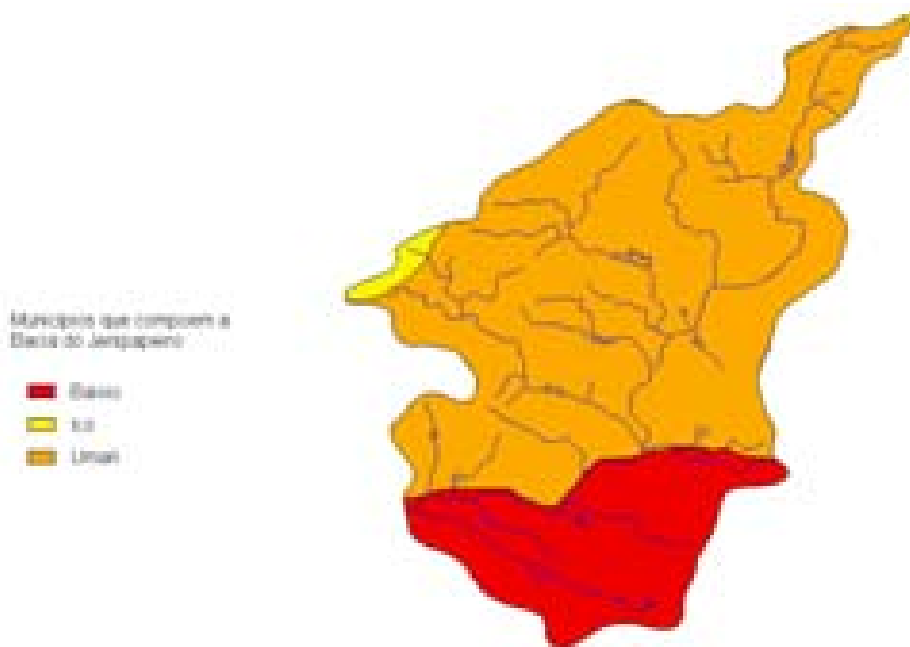


Figura 3.5 - Municípios que compõem a Bacia do Açude Jenipapeiro.

A bacia do Açude Jenipapeiro tem predominantemente, solos Bruno não Cálcico e Solonetz Solodizado (NC4 e SS3, respectivamente, ver Figura 3.6), o que

associado com o relevo da bacia resulta em solos com moderada a baixa capacidade de drenagem (Figura 3.7).

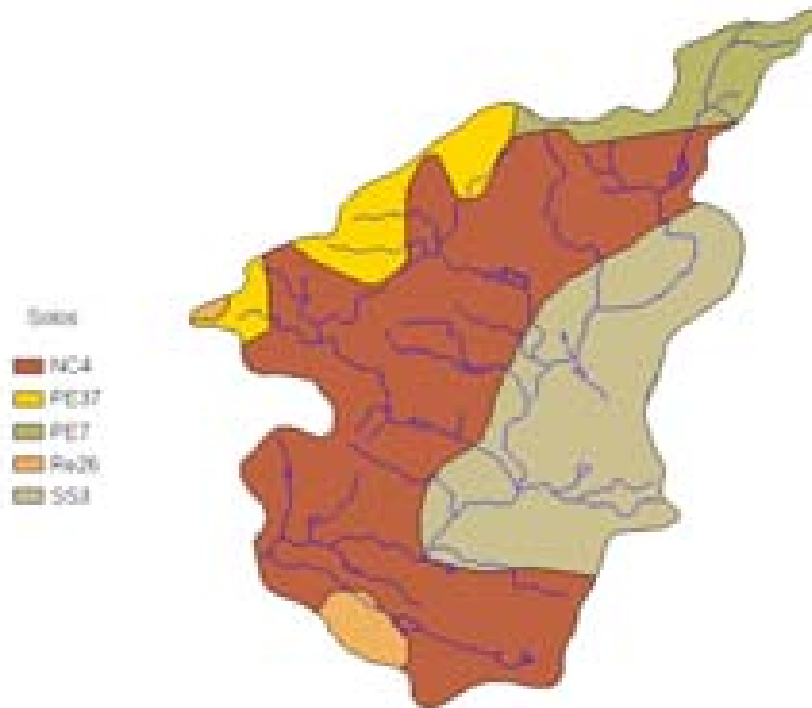


Figura 3.6 - Solos da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

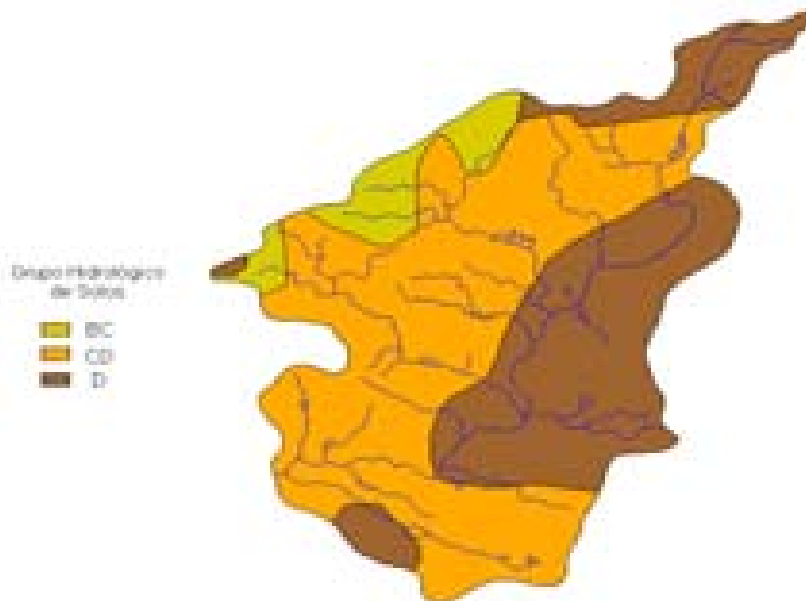


Figura 3.7 - Grupos Hidrológicos de Solos da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

A vegetação predominante é a Floresta Caducifólia Espinhosa ou Caatinga Arbórea (Figura 3.8) e o principal uso é a agricultura (culturas anuais, temporárias e permanentes) e vegetação natural composta de matas e capoeiras (Figura 3.9).



Figura 3.8 - Vegetação da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).



Figura 3.9 - Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Açude Jenipapeiro (Fonte: FUNCEME).

3.5.2 - Estudos Hidroclimatológicos

Não existe nenhuma estação hidroclimatológica nos domínios da bacia, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Iguatu, 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. Os principais parâmetros são:

3.5.2.1 - Temperatura

A distribuição temporal das temperaturas diárias mostra pequenas variações para os três pontos discretos de monitoramento (12:00; 18:00 e 24:00 TMG - Tempo Médio de Greenwich), sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes. A temperatura compensada apresenta uma variação de 3,7 °C, isso para os meses de outubro (27,3 °C) e junho (23,6 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de Outubro (33,9 °C) e Julho (20,2 °C), conforme se observa no Quadro nº3.9.

Quadro nº3.9: Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°) na Estação de Iguatu												
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máxima	33,3	32,0	31,2	29,8	27,8	27,3	28,5	33,2	33,2	33,9	35,2	34,7
Comp.	26,4	26,7	24,3	24,2	24,6	23,6	25,5	25,5	26,4	27,3	26,5	26,7
Mínima	22,5	22,8	20,8	21,6	21,8	21,7	20,2	21,1	22,0	22,7	23,2	23,5

FONTE: INEMET (1991)

3.5.2.2 - Umidade Relativa

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 32%, referente aos meses de Abril (78%) e Novembro (46%), como se pode verificar no Quadro nº3.10. Os índices de umidade medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em conta, entre estes, a pluviometria, que se constitui como o principal componente do fenômeno. Assim, considerando-se a inexistência de outras estações hidroclimatológicas nas proximidades da área de estudo, a umidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

Quadro nº3.10: Umidade Relativa na Estação de Iguatu												
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
%	66	70	75	78	77	69	60	53	48	50	46	49

FONTE: INEMET (1991)

3.5.2.3 - Insolação Média

O Quadro nº3.11 mostra, o número de horas de exposição no local da estação de Iguatu e sua distribuição mensal. Em termos atuais, no mesmo período, tem-se 2897,6 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 66% dos dias do ano possuem incidência solar direta. O trimestre fevereiro/março/abril, apresenta, por razões óbvias, os menores valores.

Quadro nº3.11: Insolação Média na Estação de Iguatu												
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
horas	218,8	179,6	203,0	196,5	247,1	235,5	244,5	284,1	307,0	280,8	266,7	234,0

FONTE: INEMET (1991)

3.5.2.4 - Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe “A” é de 1988,1 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o Quadro nº3.12. O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (236,6 mm).

Quadro nº3.12: Evaporação Média na Estação de Iguatu												
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	161,4	113,6	89,5	86,4	100,9	147,1	188,1	217,8	218,9	236,6	214,9	212,9

FONTE: INEMET (1991)

3.5.2.5 - Evapotranspiração

O Quadro nº3.13 apresenta a evapotranspiração potencial mensal obtida segundo Hargreaves, totalizando 1905 mm.

Quadro nº3.13: Evapotranspiração Potencial (Hargreaves) na Estação de Iguatu												
Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	192	144	140	125	123	120	142	160	176	190	194	199

3.5.2.6 - Balanço Hídrico

O princípio da conservação da massa à água aplicado a um determinado local ou área (em um dado volume de controle), nos fornece a diferença entre o ganho

(precipitação) e o consumo (escoamento superficial e profundo, evaporação ou evapotranspiração). Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather em 1955, e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para um estudo mais apurado.

Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm (PERH, 1992), obtém-se o Quadro nº3.14. A primeira coluna (P) representa os valores da precipitação mensal do posto Umari, escolhido como representativo da bacia hidrográfica do Jenipapeiro. A coluna da evapotranspiração potencial foi preenchida com os dados da Evapotranspiração Potencial, calculada por Hargreaves; a coluna NEG (negativo acumulado) representa um hipotético potencial matricial expresso em milímetros de déficit de água para o solo; ETR indica o valor da evapotranspiração real; a coluna DEF representa o déficit de água à planta a última coluna EXC representa a quantidade de água que ultrapassou a capacidade de retenção máxima do perfil considerado.

Quadro nº 3.14: Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather									
Capacidade de Armazenamento = 100mm									
Mês	P	ETP	P-ETP	Neg	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	81,90	192,00	-110,10	0,00	0,00	0,00	81,90	110,10	0,00
Fev	141,80	144,00	-2,20	2,20	0,00	0,00	141,80	2,20	0,00
Mar	204,50	140,00	64,50	43,00	64,50	64,50	140,00	0,00	0,00
Abr	147,20	125,00	22,20	15,00	86,70	22,20	125,00	0,00	0,00
Mai	73,80	123,00	-49,20	64,20	52,00	-34,70	108,50	14,50	0,00
Jun	31,90	120,00	-88,10	152,30	21,00	-31,00	62,90	57,10	0,00
Jul	16,70	142,00	-125,30	277,60	6,00	-15,00	31,70	110,30	0,00
Ago	7,40	160,00	-152,60	430,20	0,00	-6,00	13,40	146,60	0,00
Set	5,30	176,00	-170,70	600,90	0,00	0,00	5,30	170,70	0,00
Out	6,80	190,00	-183,20	784,10	0,00	0,00	6,80	183,20	0,00
Nov	14,10	194,00	-179,90	964,00	0,00	0,00	14,10	179,90	0,00
Dez	36,40	199,00	-162,60	1126,60	0,00	0,00	36,40	162,60	0,00
ANO	767,80	1905,00	-1137,20		230,20	0,00	767,80	1137,20	0,00

3.5.3 - Classificação do Clima

O clima da bacia hidrográfica da Barragem Jenipapeiro foi classificado segundo Köppen e Thornth Waite, como descrito a seguir:

3.5.3.1 - Classificação segundo Köppen

Segundo Köppen existem cinco zonas diferentes de clima na terra, associadas a valores de temperatura e precipitação de acordo com a vegetação.

De acordo com esta classificação, a região do estudo encontra-se classificada como Zona de Climas Secos, tipo B. As chuvas são classificadas como do tipo Bwx', uma vez que a distribuição temporal da precipitação da área abrange o verão e o outono. O clima, segundo o aspecto térmico, é do tipo muito quente, ou megatérmico.

3.5.3.2 - Classificação segundo Thornthwaite

Segundo esta classificação, além da característica pluviométrica e térmica, a evapotranspiração potencial é também considerada elemento determinante do clima.

Com base nestes índices, os dados para a área de estudo, mostram um clima semi-árido; tipo D, com índice efetivo de umidade variando entre -20% e -40%; clima seco, sub-tipo d, com índice de aridez superior a 33%; tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (DdA'a').

3.5.4 - Estudos Pluviométricos

A série pluviométrica utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Vetor Regional (HIEZ, 1978) por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos, destinado à identificação de inconsistências nas séries históricas.

Apenas uma estação foi utilizada neste estudo, a mais próxima da área de interesse, bacia do Açude Jenipapeiro, que possui uma área de 186,4 km², além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo.

O Quadro nº3.15 mostra o posto pluviométrico utilizado neste estudo. Foram utilizados dados até 1988, pois estes foram consistidos por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992).

Quadro nº3.15: Postos Utilizados Consistidos pelo Método do Vetor Regional					
Posto	Código	Período	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Umari	3832361	1912 - 1988	6°39'	38°42'	350

Fonte: PERH-CE (1992)

3.5.4.1 - Caracterização do Regime Pluviométrico

Nível Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas Figuras 3.10 e 3.11, que mostram a região do Estado onde se encontra a área do estudo, que apresenta, segundo análise destas figuras, média pluviométrica em torno de 800 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,35.

Para o posto de Umari temos uma média anual de 778 mm, um desvio padrão de 269 mm e um coeficiente de assimetria de 0,995. Uma análise freqüencial foi realizada para o posto Umari (3832361), sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro nº3.16 resume esta análise de freqüência.

Quadro nº3.16: Análise de Freqüência dos Totais Anuais – Distribuição Pearson III								
Código	N	Período de Retorno (anos)						
		10	50	100	200	500	1000	10000
3832361	75	1141,44	1478,59	1617,96	1756,05	1938,1	2076,2	2542,79

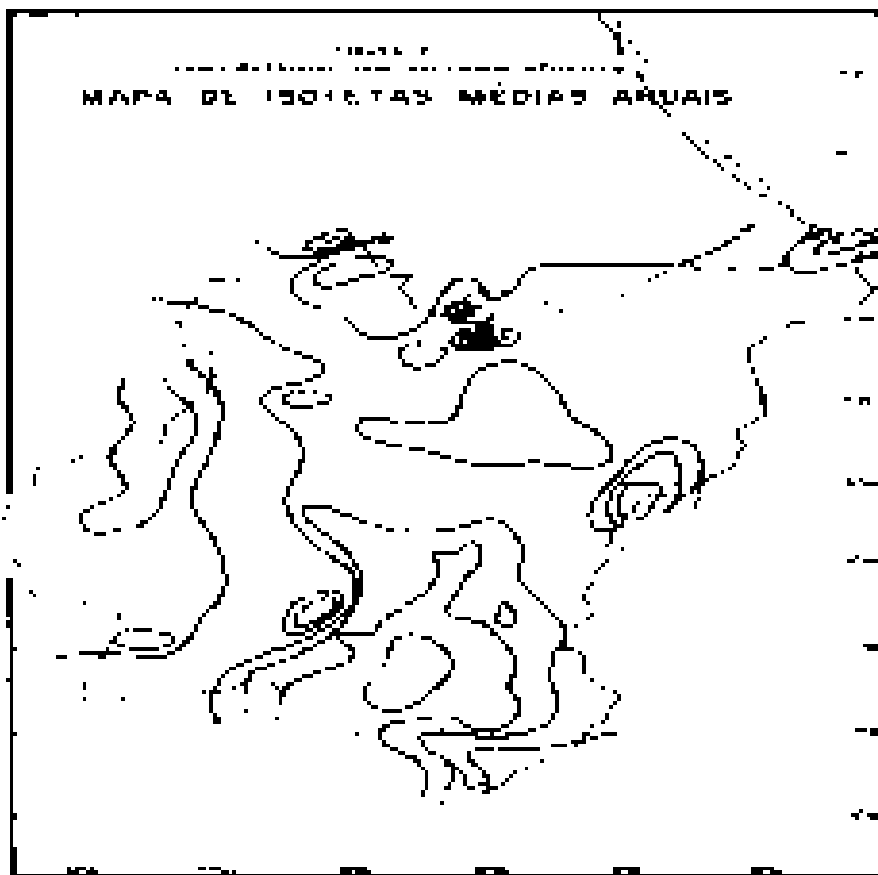


Figura 3.10 – Isoietas

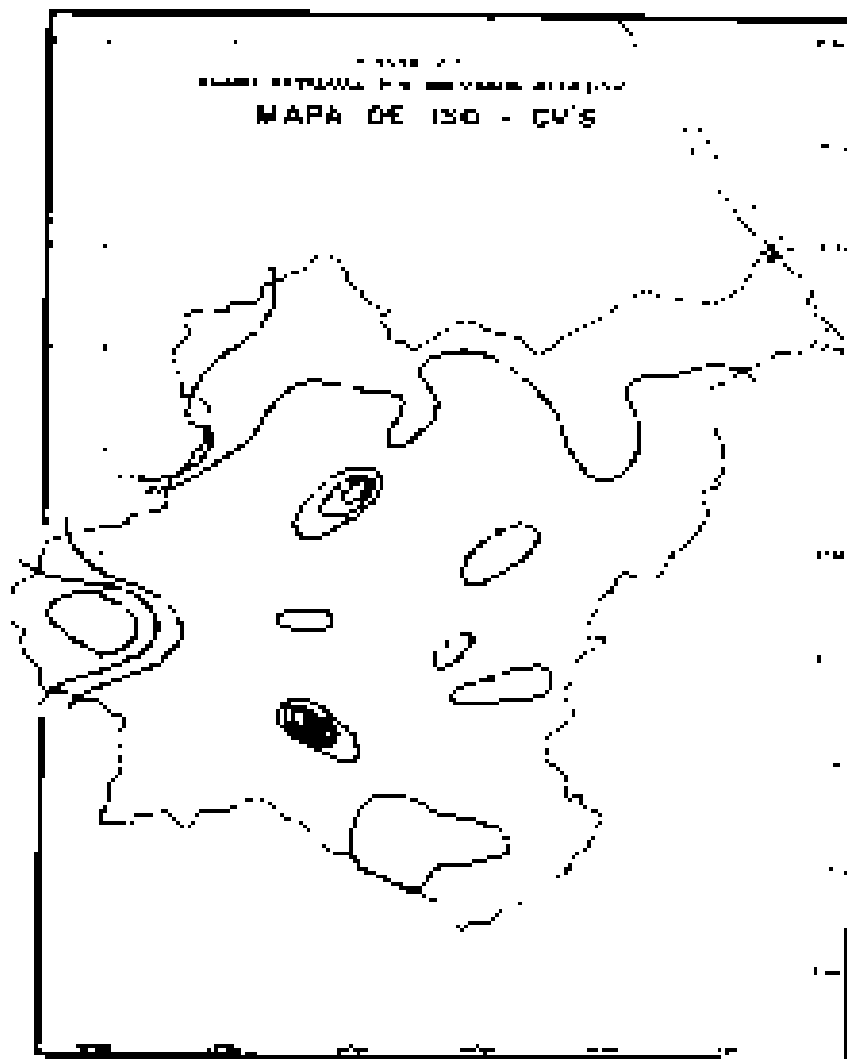


Figura 3.11 – Iso-cv's

Nível Mensal

A análise da distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a cerca de 90% do total anual.

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde se constata que cerca de 65% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano. Neste trimestre, o mês de março corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 27% do total anual.

No Quadro nº3.17 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro nº3.18 apresenta-se um resumo da análise de frequência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado: Março. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 10000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Pearson III.

Quadro nº3.17: Índices de Concentração Pluviométrica – Série de Valores Médios Mensais									
Código	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
3832361	MARÇO	204,5	26,6	FMA	493,5	64,3	1	681,1	88,7

Quadro nº3.18: Análise de Freqüência – Nível Mensal – Distribuição Pearson III								
Código	N	Período de Retorno (anos)						
		10	50	100	200	500	1000	10000
3832361	75	347,83	470,58	520,38	569,29	633,21	681,31	841,88

Nível Diário

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico, ou lenta, neste caso quando a massa de ar encontra obstáculos topográficos.

A probabilidade de ocorrência de dias chuvosos no período úmido é considerável. Em regiões de influência orográfica a ocorrência de até vinte dias chuvosos no mês não são incomuns.

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta freqüência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários.

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as freqüências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro nº3.19.

Quadro nº3.19: Análise de Freqüência – Nível Diário – Distribuição Pearson III								
Código	N	Período de Retorno (anos)						
		10	50	100	200	500	1000	10000
3832361	75	96,60	120,01	129,61	139,09	151,53	160,94	192,56

Chuvas Intensas

Na área em estudo inexistem 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 Figura 3.12 mostra as curvas intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno obtidas a partir do posto de Umari (3832361) com a metodologia de Tborga.

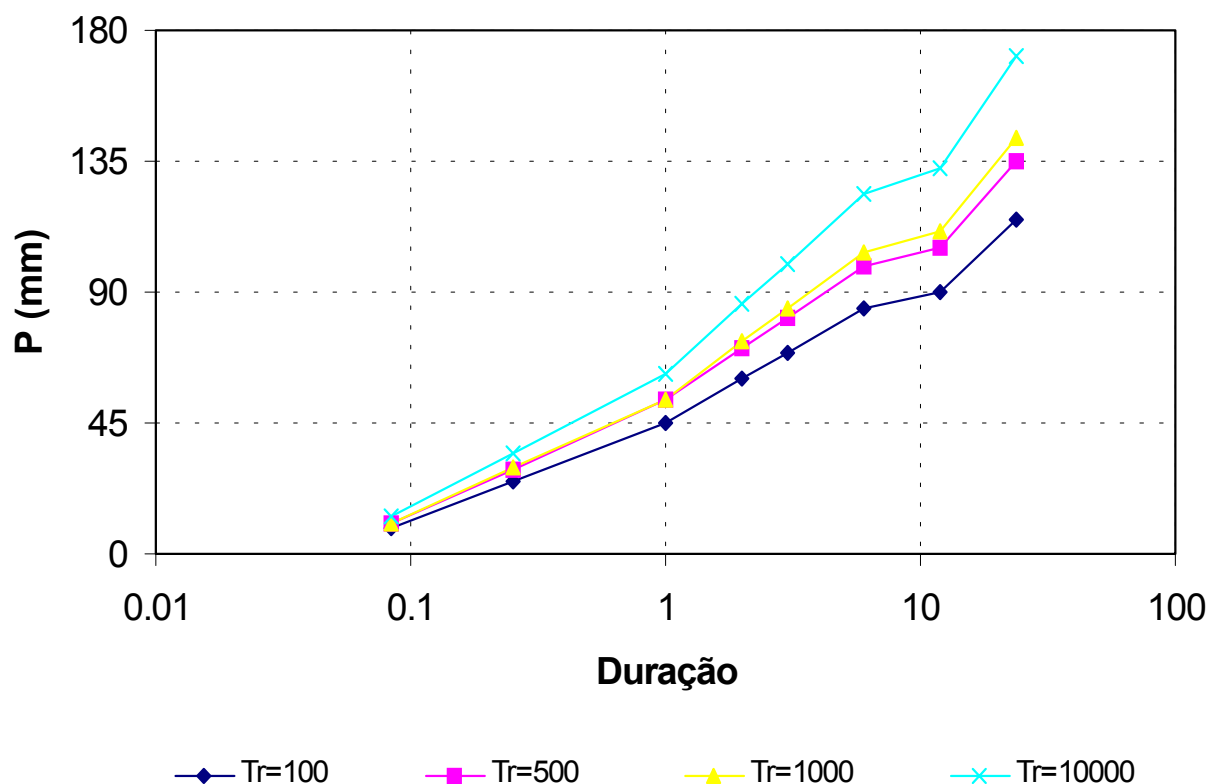


Figura 3.12 – Curvas intensidade-duração-freqüência

3.5.5 - Estudo 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 do Jenipapeiro.

3.5.5.1 - Precipitação

Para o cálculo do escoamento superficial da bacia do Açude Jenipapeiro 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 obtidas nos estudos hidroclimatológicos, sendo ajustado à área da bacia. O Quadro nº3.20 apresenta a chuva pontual e a reduzida, esta última obtida com a aplicação do fator redutor de área da primeira.

Quadro nº3.20: Valores Reduzidos de Chuva de 24 horas (mm)								
Chuvas Pontual e Reduzida								
Duração								
Chuva Pontual								
	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) - TR 100	11,4	30,8	55,3	74,3	85,5	104,5	111,6	142,6
P(mm) - TR 500	12,5	36,0	65,7	87,7	100,6	122,6	130,8	166,7
P(mm) - TR 1000	13,3	36,5	65,9	90,1	104,3	128,5	137,5	177,0
P(mm)-TR 10000	15,9	42,8	76,7	106,2	123,4	152,9	163,8	211,8
Chuva Reduzida								
P(mm) - TR 100	9,2	24,9	44,7	60,1	69,1	84,4	90,2	115,2
P(mm) - TR 500	10,1	29,1	53,1	70,9	81,3	99,1	105,7	134,7
P(mm) - TR 1000	10,7	29,5	53,2	72,8	84,3	103,9	111,1	143,1
P(mm)-TR 10000	12,8	34,6	62,0	85,8	99,7	123,5	132,4	171,2

3.5.5.2 - 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 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 Açude Jenipapeiro foi adotado um CN = 80 com base nos mapas de solos (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1992).

3.5.5.3 - 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.

As Figuras 3.13 e 3.14 apresentam os hietogramas de projeto (precipitação total) e os hidrogramas afluentes a barragem Jenipapeiro obtidos através do uso do modelo HEC - 1 correspondentes aos tempos de retorno 1000 e 10000 anos, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma foi 724,2 m³/s para o período de retorno de 1000 anos, e 928,35 m³/s para o período de retorno de 10000 anos.

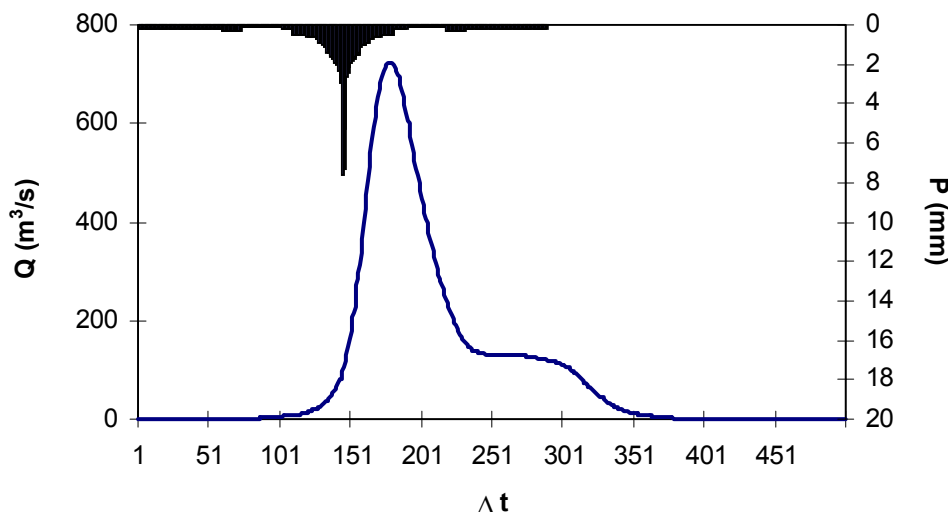


Figura 3.13 - Hidrograma total afluente ao Açude Jenipapeiro (Tr = 1000 anos).

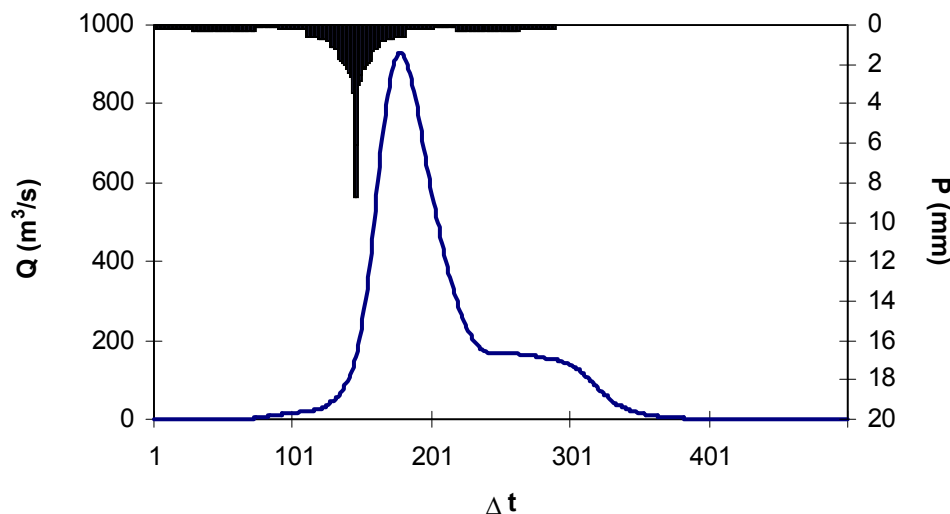


Figura 3.14 - Hidrograma Total Afluente ao Açude Jenipapeiro (Tr = 10000 anos).

3.5.6 - Curvas de Regulação do Reservatório

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

1. Solução direta da equação de balanço hídrico;
2. Diagrama Triangular de Regularização.

No Quadro nº3.21 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 a barragem Jenipapeiro. A Figura 3.15 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Jenipapeiro, que nada mais são que a graficação dos valores apresentados no Quadro nº3.21.

A Figura 3.13 e os dados apresentados no Quadro nº3.21 sugerem que a partir da cota 260 m (volume em torno de $43,4 \text{ hm}^3$) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 24,4% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, $4,281 \text{ hm}^3/\text{ano}$, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de $0,144 \text{ m}^3/\text{s}$. O Quadro 3.22 mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG). Utilizando-se o método do Diagrama Triangular de Regularização com $f_E = 0,33$, $f_K = 2,48$ e $CV = 1,4$, obtem-se um volume de $4,375 \text{ hm}^3$ regularizado anualmente, ou em termos de vazão, $Q_{90} = 0,139 \text{ m}^3/\text{s}$. Este valor está bem próximo ao valor obtido pela solução direta da equação do balanço hídrico (Quadro nº3.22).

Quadro nº3.21: Estudo Incremental de Capacidades do Reservatório Jenipapeiro

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)
250	1.8302	0.10	1.58	0.277	92.58	16.221	4.70	0.824	----	0.0090	0.2846
251	3.1156	0.18	3.12	0.547	89.01	15.595	6.73	1.180	0.2186	0.0179	0.5657
252	5.0724	0.29	5.82	1.020	83.91	14.702	9.17	1.606	0.2552	0.0338	1.0650
253	7.6743	0.44	9.14	1.602	77.93	13.655	11.85	2.076	0.2434	0.0539	1.6982
254	10.7631	0.61	11.03	1.933	72.77	12.750	15.14	2.652	0.1101	0.0646	2.0382
255	14.3976	0.82	13.11	2.298	67.33	11.797	18.49	3.241	0.1042	0.0766	2.4169
256	18.6777	1.07	15.85	2.777	61.29	10.739	21.83	3.825	0.1193	0.0928	2.9276
257	23.6423	1.35	18.53	3.247	55.22	9.675	25.26	4.425	0.1021	0.1089	3.4346
258	29.3155	1.67	20.58	3.606	49.53	8.678	28.92	5.067	0.0668	0.1209	3.8137
259	35.8059	2.04	22.35	3.916	43.93	7.697	32.76	5.740	0.0500	0.1312	4.1380
260	43.4495	2.48	24.43	4.281	38.15	6.685	36.51	6.397	0.0517	0.1438	4.5335
261	52.2521	2.98	25.69	4.502	32.81	5.748	40.61	7.115	0.0268	0.1512	4.7698
262	62.0263	3.54	26.82	4.700	27.68	4.850	44.65	7.823	0.0217	0.1580	4.9823
263	73.0997	4.17	27.79	4.870	22.68	3.974	48.70	8.534	0.0161	0.1636	5.1605
264	85.5154	4.88	29.06	5.091	17.94	3.143	52.16	9.139	0.0193	0.1712	5.4002

Quadro nº3.22: Distribuição do Volume Afluente e Qr (90%) para o Res. Jenipapeiro

Equação do Balanço Hídrico – Cota 260 m			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m3/s)
4,281 – 24,4%	6,397 – 36,5%	6,685 – 38,15%	0,143
Diagrama Triangular de Regularização – Cota 260 m			
4,375 – 25,0%	6,475 – 37,0%	6,650 – 38,0%	0,139

EV - Volume Evaporado (hm³/ano)
 RG- Volume Regularizado (hm³/ano)

SG - Volume Sangrado (hm³/ano)
 Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m³/s)

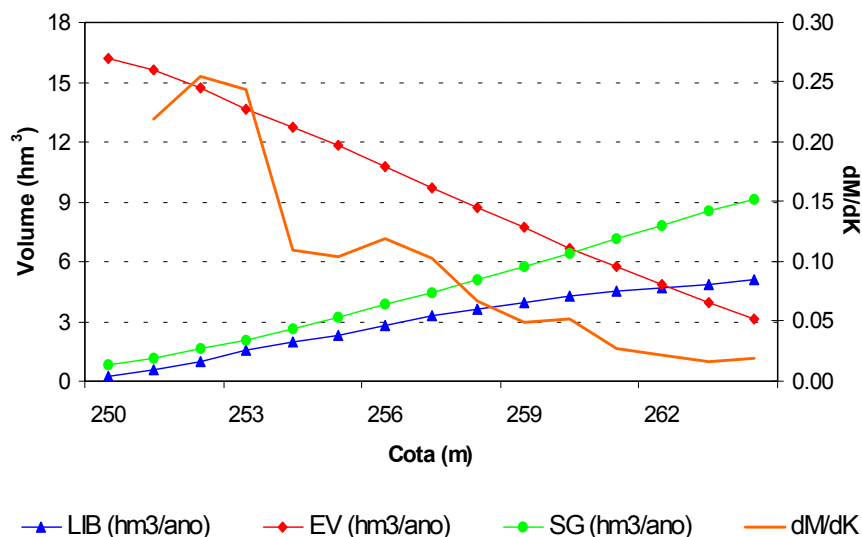


Figura 3.15 - Curvas de Regulação do Reservatório Jenipapeiro.

3.5.7 - Determinação da Capacidade do Reservatório

A curva de regulação do reservatório sugere que a partir da cota 260 m os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Esta cota corresponde a capacidade de acumulação de 43,4 hm³. Para esta capacidade o reservatório regulariza 24,4% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume 4,281 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 0,144 m³/s. A topografia aqui não foi um fator limitante na escolha da capacidade de acumulação.

3.5.7.1 - Análise econômica

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

- Variação do custo anual do m³ de água acumulada em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos a uma taxa de 8%;
- Variação do custo anual do m³ de água regularizada com 90% de garantia em função da cota de soleira do reservatório para um período de 30 anos a 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 3.16 mostra que:

- O custo anual do m³ regularizado variou entre R\$ 0,059 (cota 259 e 260 m) e R\$ 0,062 (cota 262 m).
- O custo anual do m³ de acumulação variou entre R\$ 0,008 (cota 258 m) e R\$ 0,005 (cota 262 m).

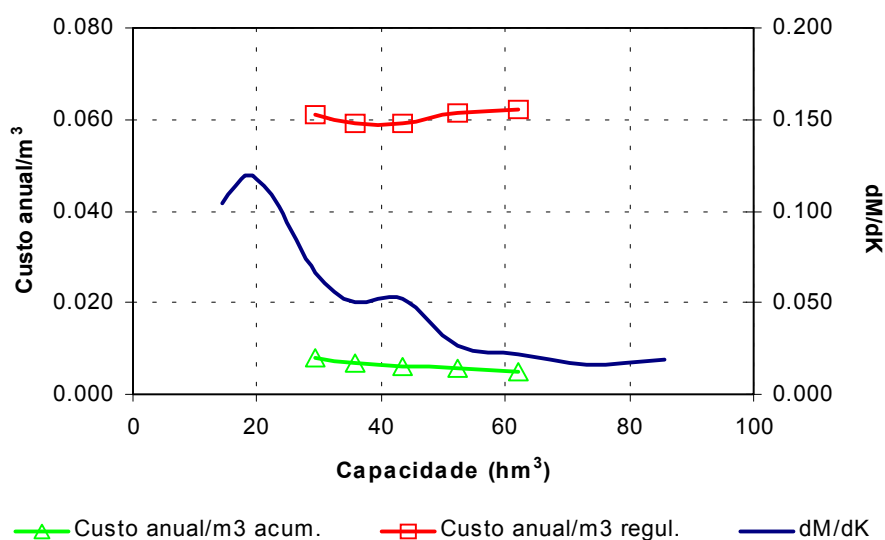


Figura 3.16. Análise hidrológico-econômica para seleção da capacidade da barragem Jenipapeiro.

3.5.7.2 - Escolha da capacidade do reservatório – Análise hidrológico-econômica

O custo anual por m³ regularizado tem o seu mínimo nas cotas 259 - 260 m. Acima destas cotas os ganhos na capacidade de regularização por incremento de volume armazenado não compensam o aumento nos respectivos custos. Assim, considerando os aspectos hidrológico-econômicos sugere-se a adoção da cota de soleira = 260 m (volume de armazenamento = 43,4 hm³).

3.5.8 - Dimensionamento do Sangradouro

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.

3.5.8.1 - Propagação da Cheia no Reservatório

O vertedouro é do tipo Perfil Creager, sendo o seu coeficiente de descarga adotado 2,1. Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 3.23, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 3.17 abaixo mostra para o tempo de retorno Tr=1000 anos, o hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Jenipapeiro. Os resultados para o tempo de retorno de 10.000 anos são apresentados na Figura 3.18.

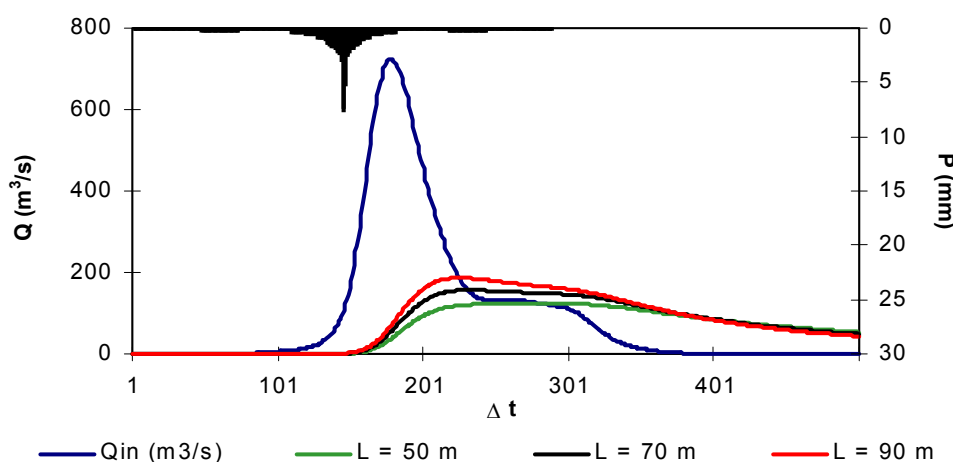


Figura 3.17 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Jenipapeiro Tr=1000 anos. Perfil Creager. Cota 260 m. L = 50, 70 e 90 m

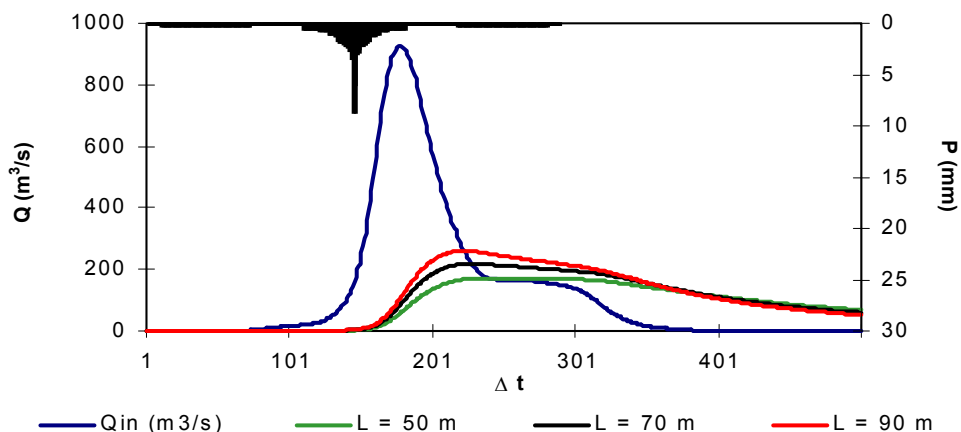


Figura 3.18 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Jenipapeiro Tr=10000 anos. Perfil Creager. Cota 260 m. L = 50, 70 e 90 m

Quadro nº3.23: Resultado da Simulação acima descrita			
L (m)	Q _{out} (m ³ /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
Perfil Creager: Z_w = 260,0 m			
Tr = 1000 anos - Q_{in} = 724,20 m3/s			
50	124,0	261,1	1,1
70	157,0	261,0	1,0
90	187,0	261,0	1,0
Tr = 10000 anos - Q_{in} = 928,35 m3/s			
50	171,0	261,4	1,4
70	219,0	261,3	1,3
90	260,0	261,2	1,2

L = Largura do Sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

3.5.9 - Estudos Adicionais

Para a Barragem Jenipapeiro foram realizados os estudos de probabilidade de enchimento e esvaziamento e os estudos de assoreamento, como discriminado a seguir:

3.5.9.1 - Probabilidades de enchimento e esvaziamento - Equilíbrio

Neste tópico foi utilizada a teoria de Matriz de Transição para o cálculo da probabilidade de esvaziamento e enchimento em equilíbrio. A análise probabilística de enchimento na fase de equilíbrio mostra que em cerca de 40% dos anos ocorre sangria quando não há retirada anual do reservatório, caindo para 12% dos anos quando a retirada anual é de 40 hm³. A Figura 3.19 apresenta as duas curvas probabilísticas de esvaziamento e enchimento. Nesta Figura pode-se ainda observar que para uma retirada igual a 4,281 hm³/ano (Curva de regulação do reservatório, volume liberado com 90 % de garantia) tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10%, o que implica em uma garantia de 90%.

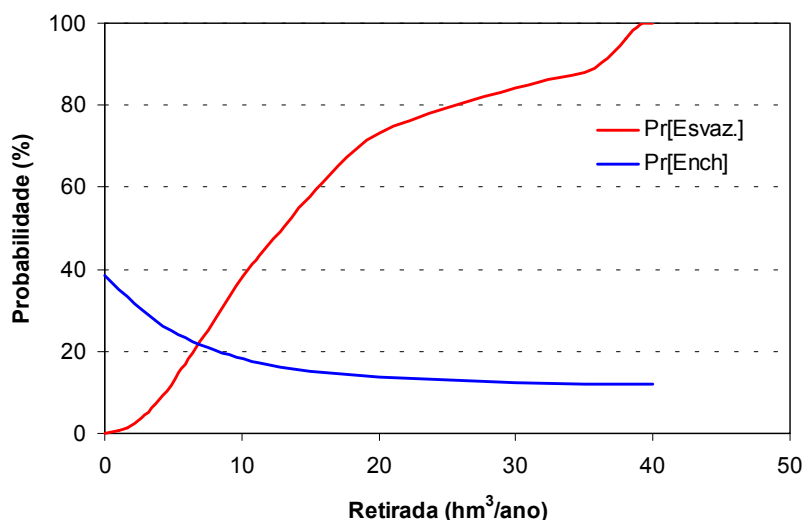


Figura 3.19. Probabilidades de Esvaziamento e Enchimento do açude Jenipapeiro

3.5.9.2 - Assoreamento do açude Jenipapeiro

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

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 17% de Argila, 13% de Silte e 70% de Areia. A partir destas características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizadas fórmulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

Peso específico aparente inicial - γ_i (t/m ³):	1,331
Coefficiente de consolidação médio - K :	0,0266
Descarga sólida média (t/ano):	57866
Descarga sólida média específica (t/km ² /ano):	310,4
Razão de transporte ("delivery ratio") - T	0,132

A estimativa do volume assoreado e, conseqüentemente, do volume efetivo ou útil do reservatório ao longo do tempo é feita através da simulação simplificada da operação do reservatório em intervalos Δt igualmente espaçados durante um tempo suficientemente longo. O açude Jenipapeiro foi simulado durante 100 anos com Δt igual a 10 anos. O Quadro nº3.24 apresenta os valores obtidos de acordo com a metodologia de Veiga (1993). A tabela mostra o acompanhamento, a cada intervalo de simulação, das variáveis utilizadas bem como do sedimento acumulado e do volume efetivo. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de 39,3 hm³, havendo uma redução de 9,5% no volume útil do açude Jenipapeiro, o qual era inicialmente de 43,4 hm³. Deve-se ressaltar, entretanto que a aplicabilidade desta metodologia ao semi-árido não foi verificada em face de inexistência de registros de dados sedimentológicos.

Quadro nº3.24: Simulação do Assoreamento do Reservatório ao Longo do Tempo								
Período Parcial (anos)		Volume inicial (hm ³)	Volume/ μ	Er	γ_T (t/m ³)	Sedimento Período (10 ³ t)	Sedimento Acumulado (hm ³)	Volume Efetivo ou útil (hm ³)
0	10	43,4	2,5	1,0	1,3	564,6	0,4	43,0
10	20	43,0	2,5	1,0	1,4	564,6	0,8	42,6
20	30	42,6	2,4	1,0	1,4	564,6	1,3	42,2
30	40	42,2	2,4	1,0	1,4	564,6	1,7	41,8
40	50	41,8	2,4	1,0	1,4	564,5	2,1	41,4
50	60	41,4	2,4	1,0	1,4	564,5	2,5	41,0
60	70	41,0	2,3	1,0	1,4	564,5	2,9	40,5
70	80	40,5	2,3	1,0	1,4	564,4	3,3	40,1
80	90	40,1	2,3	1,0	1,4	564,4	3,7	39,7
90	100	39,7	2,3	1,0	1,4	564,4	4,1	39,3

Veiga Lopes, Ayde, Aplicação de Métodos de Previsão de Assoreamento de Reservatórios. Dissertação de Mestrado, Campinas,SP (1993).

4 - PROJETO DA BARRAGEM

4 – PROJETO DA BARRAGEM

O Projeto Executivo da Barragem Jenipapeiro foi elaborado a partir da apresentação de soluções técnicas alternativas, vistas como as mais viáveis técnicas e economicamente. Em seguida, foi feito o confronto dos custos e dificuldades de implantação da obra para as alternativas. Finalmente, foi feita a seleção da melhor opção na visão do Consórcio Projetista, para ser apresentada como seção de maciço. Este capítulo foi desenvolvido abordando os seguintes tópicos:

- Escolha do Eixo Barrável;
- Concepção da Barragem.

4.1 - ESCOLHA DO EIXO

Foram estudados três eixos por ocasiões dos estudos das alternativas que foram apresentados no Módulo I – Volume I, com o objetivo de selecionar o mais atrativo do ponto de vista técnico-econômico, ou seja, considerando os condicionantes topográficos, geológicos, geotécnicos e ambientais, para implantação da barragem.

Verificou-se em visitas técnicas ao campo que os eixos selecionados se tratam de boqueirões com limitações topográficas e alturas máximas de barramento variando de 12,0m a 16,0m. Porém os boqueirões possuem boas características geomorfológicas e geotécnicas, com substrato rochoso quase aflorando, encoberto apenas por uma delgada camada de solo de alteração, bem característico da região, constituída por rochas do embasamento cristalino. Os sangradouros dos eixos selecionados poderão ser colocados tanto nas ombreiras direita como na ombreira esquerda, já que as condições existentes são favoráveis.

Dos três eixos estudados foi escolhido, o Eixo – 1 corresponde ao sítio do projeto básico elaborado anteriormente pela empresa KL – Serviços de Engenharia Ltda, em 1995, para a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH/CE) e está localizado em uma fazenda denominada Xique-Xique.

4.2 - CONCEPÇÃO DA BARRAGEM

O presente capítulo contém o memorial descritivo e justificativo do Projeto Executivo da Barragem Jenipapeiro, o qual foi dividido nos seguintes itens, de acordo com os aspectos abordados:

- Caracterização da Fundação;
- Rebaixamento do Lençol Freático;

- Geometria da Trincheira de Fundação;
- Local de Bota-Fora;
- Maciço da Barragem;
- Análise de Estabilidade;
- Estudo de Percolação da Barragem;
- Análise dos Recalques;
- Sangradouro;
- Tomada D'Água.

4.2.1 - Caracterização da Fundação

Para a descrição da fundação da Barragem Jenipapeiro segmentou-se a obra em três partes, a saber: Ombreira Direita, Vale do Boqueirão e Ombreira Esquerda.

4.2.1.1 - Ombreira Direita

A ombreira direita tem elevação topográfica na cota 264,00m, começando na estaca 32D e indo até a estaca 13, onde foi considerado o início da calha do rio.

Na ombreira direita, entre as estacas 23D+15,00 e 20D+15,00 será implantado o sangradouro.

Entre as estacas 32D e 24D e entre as estacas 18D e 2B, o terreno tem elevação acima da cota do coroamento da barragem.

Na ombreira direita foram executadas 17 sondagens, sendo 5 sondagens à percussão, 5 sondagens mistas e 7 sondagens rotativas.

Examinando o perfil de sondagem, verifica-se:

- 1) As sondagens SM-2, SM-5, SP-08, SP-11, SM-14, SM-17 e SM-15, executadas na área de implantação do sangradouro, indicaram uma camada de solo superficial formada por solo residual de alta capacidade de suporte, com elevado número de

golpes de SPT. O grau de fraturamento do maciço rochoso, em geral é maior nos primeiros metros mais superficiais, e diminui consideravelmente com a profundidade.

2) As sondagens SP-22, SP-23, SP-24, SP-25, executadas na área de implantação do maciço terroso da barragem, indicaram que a camada de solo é formada por solo residual de alta capacidade de suporte, o que implicou na adoção de um cutoff com profundidade máxima de 1,0m abaixo do terreno natural, após a execução da escavação obrigatória para remoção da matéria orgânica. Este cutoff ficará entre as estacas 1B e 10A=10.

Os ensaios de perda d'água na área do sangradouro indicaram perdas específicas nulas.

4.2.1.2 - Vale do Boqueirão

O vale do boqueirão encontra-se entre as estacas 13 e a estaca 27, onde foram executadas 32 sondagens, sendo 26 sondagens à percussão, 6 sondagens mistas e nenhuma rotativa.

Examinando o perfil de sondagem verifica-se que são encontrados materiais com boa capacidade de suporte, obtidos nos ensaios de SPT, constituída por sedimentos aluvionares compostos por solo areno siltsosos, com espessuras que atingem até 7,00m. As sondagens realizadas mostraram tratar-se de sedimentos com índice de resistência à penetração elevado, apresentando SPT superior a 7 golpes. O coeficiente de permeabilidade do substrato terroso, determinada nos ensaios de infiltração, indicaram valores variando de 10^{-3} cm/s a 10^{-5} cm/s demonstrando ser uma material heterogêneo, apresentando regiões com concentração de pedregulhos ou lentes de areia, as quais poderiam condicionar percolações importantes pela fundação.

Assim sendo, deverá ser implantado uma trincheira de vedação cutoff, engastado no solo residual.

No substrato rochoso no trecho da calha do rio, os ensaios de perda d'água revelaram perdas específicas de zero a 0,81l/min x m x kg/cm². Diante do nível de perda d'água encontrada no meio rochoso a Fiscalização sugeriu a não adoção da cortina de injeção.

4.2.1.3 - Ombreira Esquerda

A ombreira esquerda tem elevação topográfica que chega até a cota 264,00m, começando na estaca 27 até a estaca 33E, onde foram executadas 3 sondagens rotativas.

Examinando o perfil de sondagem verifica-se que a fundação da barragem na ombreira esquerda é favorecida, pois há uma pequena espessura de cobertura de solo sobrejacente a solo residual ou rocha. Logo, a remoção da cobertura de solo e a adoção de um cutoff com profundidade de 1,0m abaixo da escavação obrigatória para remoção da matéria orgânica, poderá expor uma superfície adequada de fundação.

Além disso, os coeficientes de permeabilidade obtidos nos ensaios de infiltração realizados nos diversos furos e em diferentes profundidades foram da ordem de 10^{-5} cm/s, demonstrando tratar-se de um material com elevado grau de homogeneidade, sendo adequado para a barragem de terra.

Os ensaios de perda d'água revelaram perdas específicas nulas.

4.2.2 - Rebaixamento do Lençol Freático

As escavações para a fundação nas ombreiras estão acima do nível d'água.

Já as escavação no leito do rio interceptarão o lençol freático para atingir a cota do fundo da vala. Na estaca 14, a sondagem SM-28 apresentou nível d'água a uma profundidade de 4,00m, na estaca 16, a sondagem SM-31 indicou o nível d'água a uma profundidade de 5,00m e na estaca 20, sondagem SM-37 indicou nível d'água a 2,90m de profundidade.

4.2.3 - Geometria da Trincheira de Fundação

A trincheira de fundação, o cutoff, deverá seguir em linhas gerais as seguintes recomendações:

- 1) O cutoff será escavado alinhado com o bordo de jusante do coroamento, para montante;
- 2) Nas zonas das ombreiras o cutoff possui uma profundidade máxima de 1,00m abaixo do terreno natural, após a execução da escavação obrigatória para remoção de matéria orgânica;
- 3) Na zona do vale do boqueirão, o cutoff tem sua profundidade variável, indo de 1,00m a 7,00m. Os taludes iniciais até 4,00m de altura serão 1,0(V):1,0(H) e a partir desta profundidade será criada uma berma de 2,00m de largura e o talude de continuação de escavação será suavizado para 1,0(V):1,5(H) até o fundo da vala;

4) A largura do cutoff será de 6,00m, quando a sua profundidade for inferior ou igual a 4,00m. Quando a profundidade do cutoff for superior a 4,00m, a largura do cutoff será de 8,0m.

No perfil longitudinal da Barragem Jenipapeiro é mostrado a linha que limita a profundidade da trincheira de escavação, ou seja, a linha de fundação do cutoff.

Nas seções transversais da Barragem Jenipapeiro é representado a geometria da trincheira de fundação.

4.2.4 - Local de Bota-Fora

No lado de montante do eixo da Barragem Jenipapeiro, ao longo da calha do rio, abaixo da cota 252,00m está destinada ao depósito de material de bota-fora, proveniente das escavações obrigatórias para a execução da obra.

4.2.5 - Maciço da Barragem

A barragem foi concebida como sendo um maciço homogêneo a ser construída com material proveniente das jazidas J-01, J-02 e J-03. A barragem ficará com coroamento na cota 262,70m, com altura máxima de 15,40m na estaca 14.

A crista da barragem terá 6,0m de largura com caimento de 2% para montante. A camada final com 0,20m de espessura será executada com cascalho argiloso. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios com abertura para montante.

O talude de montante terá inclinação de 1,0(V):2,5(H) em toda a sua extensão. O talude de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um *riprap*. O *riprap* será formado por uma camada de 0,70m de espessura de blocos de rocha sã assentes sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura, formada por produto de britagem.

O enrocamento do *riprap* a ser utilizado tem as seguintes características:

$$\begin{array}{ll}
 P_{50} = 0,45\text{tf} & D_{50} = 0,62\text{m} \\
 P_{\text{mín}} = 0,112\text{tf} & D_{\text{mín}} = 0,39\text{m} \\
 P_{\text{máx}} = 0,64\text{tf} & D_{\text{máx}} = 0,70\text{m}
 \end{array}$$

A camada de Rip-rap tem a granulometria mostrada no Quadro nº4.2.

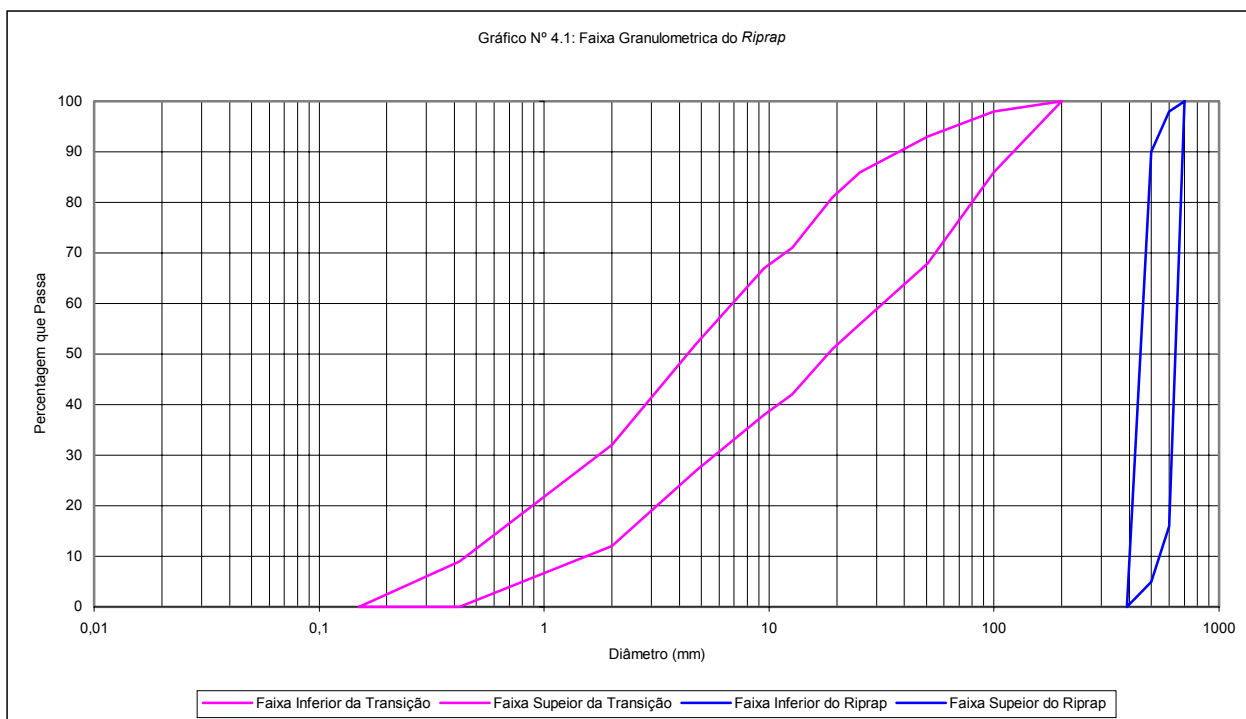
Quadro nº4.2: Material do Enrocamento do Riprap	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
700mm	100

600mm	16 – 98
500mm	5 – 90
390mm	0

A camada de transição tem a granulometria mostrada no Quadro nº4.3:

Quadro nº4.3: Material de Transição	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que passa)
200mm	100
100mm	86 – 98
2" (50,8mm)	68 – 93
1" (25,4mm)	56 – 86
¾" (19,10mm)	51 – 81
½" (12,27mm)	42 – 71
3/8" (9,52mm)	38 – 67
Nº 4 (4,76mm)	27 – 52
Nº 10 (2,00mm)	12 – 32
Nº 40 (0,42mm)	0 – 9
Nº 100 (0,15mm)	0

No gráfico 4.1 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais constituintes do *riprap*.



O talude de jusante terá inclinação de 1,0(V):2,0(H) em toda a sua extensão. Na cota 256,00m será colocada uma berma de 2,0m de largura. A proteção do talude

será feita com uma camada de 0,30m de espessura de material britado, com granulometria mostrada no Quadro nº4.4.

Quadro nº4.4: Material de Proteção do Talude de Jusante	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
300mm	100
1" (25,4mm)	48 – 100
3/8" (9,5mm)	28 – 74
Nº 4 (4,8mm)	12 – 50
Nº 10 (2,0mm)	0

No gráfico Nº 4.2 é mostrado as faixas granulométricas dos materiais constituintes do enrocamento de proteção ao talude de jusante.



Para a drenagem interna do maciço da Barragem Jenipapeiro, está prevista a construção de um filtro vertical e um tapete drenante. O filtro vertical terá 1,0m de espessura e será executado com areia grossa proveniente do areal A-01. O filtro ficará com topo na cota 261,40m, coincidindo com a cota da cheia decamilenar. O tapete

horizontal consiste em um colchão de areia grossa proveniente do areal A-01, com espessura de 0,50m entre as estacas 01B a 13 e 24 a 22E e de 1,00m entre as estacas 14 e 22.

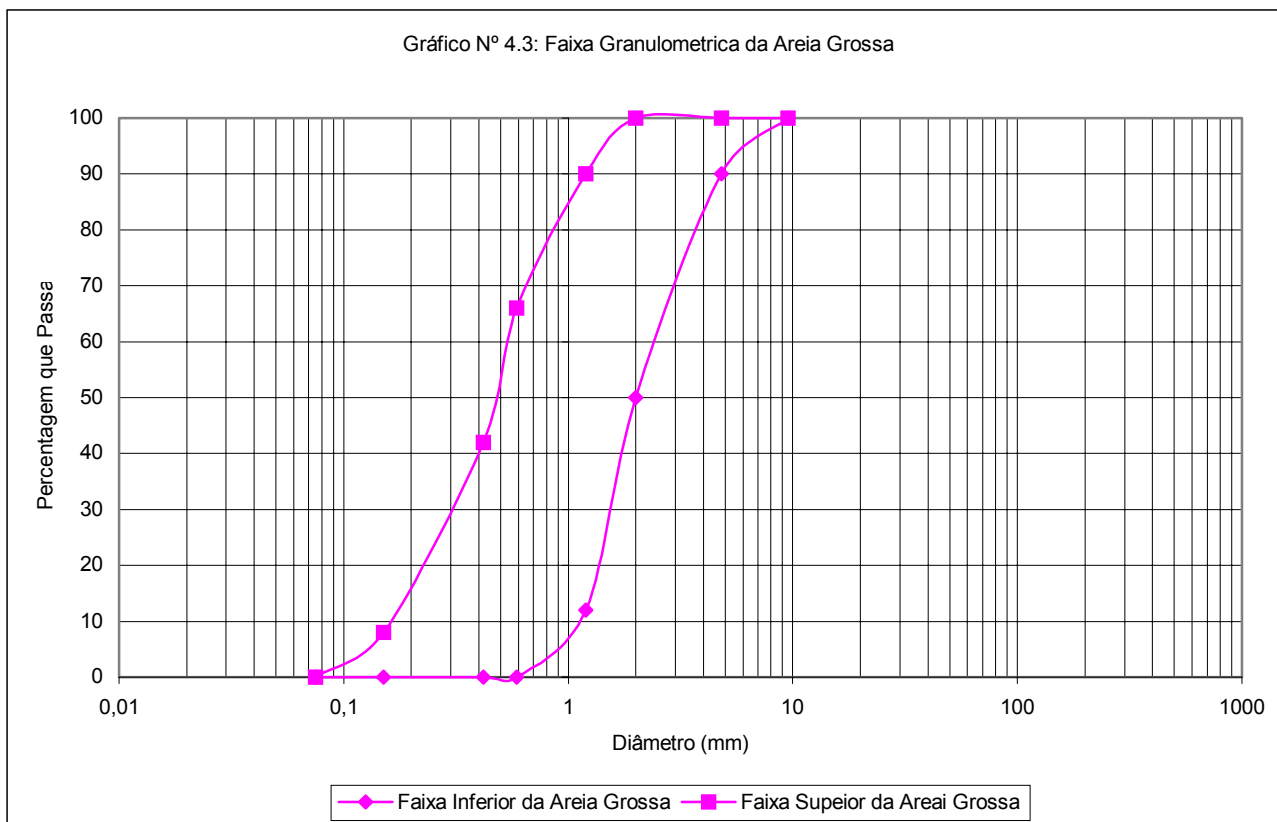
No Quadro nº4.5 é mostrada a faixa granulométrica a qual a areia grossa deverá estar enquadrada para formar o filtro e o tapete do sistema de drenagem interna da barragem.

Quadro nº4.5: Areia Grossa	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	100
¾" (19,10mm)	100
½" (12,27mm)	94 – 100
3/8" (9,5mm)	88 – 100
Nº 4 (4,76mm)	50 – 100
Nº 10 (2,00mm)	29 – 96
Nº 40 (0,42mm)	3 – 69
Nº 100 (0,15mm)	0 – 26
Nº 200 (0,075mm)	0

No gráfico 4.3 são mostradas as faixas granulométricas da areia grossa que formará o sistema de drenagem interna da barragem.

Nos trechos entre as estacas 01-B a 08-A, 4-E a 22-E, 12 a 13 e 25 a 28, será executado um dreno de pé no talude de jusante, consistindo em um enrocamento de pedra com seção trapezoidal, com altura fixa de 2,00 m, contados a partir do terreno de escavação e, largura de crista de 3,30 m, em toda a sua extensão dos trechos. O enrocamento terá talude de 1,0 (V) : 2,0 (H). Entre a interface do encontro do talude da barragem com o enrocamento, será colocado uma camada de transição, constituída por Brita "A", com 1,0 m de altura, contados a partir do terreno de escavação, com largura de crista de 1,0 m e com talude de 1,0 (V) : 1,5 (H).

Entre as estacas 14 a 24 será executado um dreno de pé no talude de jusante consistindo num enrocamento de pedra com seção trapezoidal com crista na cota 251,00m, largura de 2,0m em toda a sua extensão e talude de 1,0 (V): 1,5 (H). Entre as interfaces da base do terreno natural com o enrocamento e o maciço da barragem serão colocadas camadas de transição com 0,60m de espessura, sendo 0,30m de areia grossa e 0,30m de Brita "A".



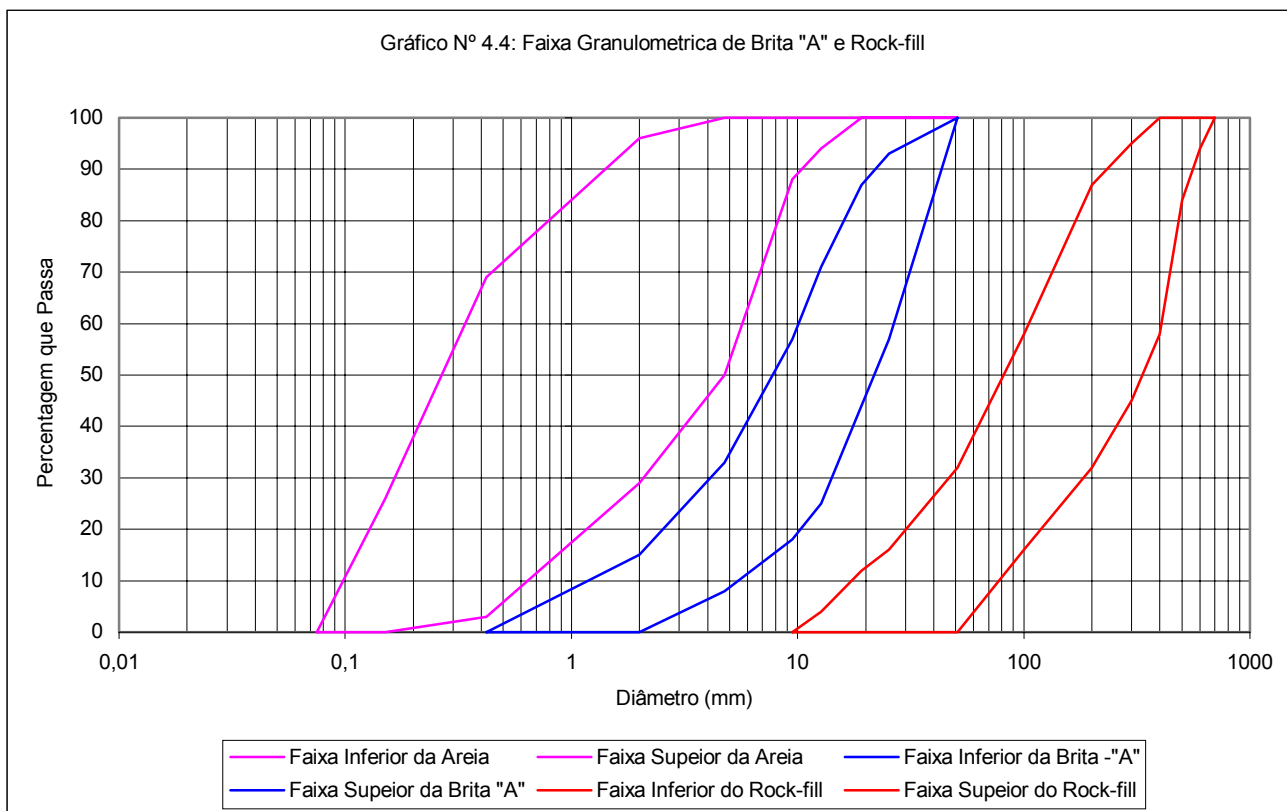
A areia grossa que formará a transição do rock-fill deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.5. A brita da transição do rock-fill, denominada de brita “A”, deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.6.

Quadro nº4.6: Brita “A”	
Peneira	Faixa Granulométrica (Percentagem que Passa)
2” (50,8mm)	100
1” (25,4mm)	57 – 93
¾” (12,5mm)	44 – 87
½” (12,5mm)	25 – 71
3/8” (9,2mm)	18 – 57
Nº 4 (4,8mm)	8 – 33
Nº 10 (2,0mm)	0 – 15
Nº40 (0,42mm)	0

O enrocamento do rock-fill deverá estar enquadrado na faixa granulométrica apresentada no Quadro nº4.7.

Quadro nº4.7: Enrocamento do Rock-fill	
Peneira	Faixa Granulométrica (Porcentagem que Passa)
700mm	100
600mm	94 – 100
500mm	84 – 100
400mm	58 – 100
300mm	45 – 95
200mm	32 – 87
100mm	16 – 58
2" (50,80mm)	0 – 32
1" (25,4mm)	0 – 16
¾" (19,1mm)	0 – 12
½" (12,7mm)	0 – 4
3/8" (9,5mm)	0

No gráfico 4.4 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais que formam o sistema de drenagem interna da barragem, ou seja, areia grossa, brita "A" e enrocamento do rock-fill.



4.2.6 - Análise de Estabilidade

A geometria da Barragem Jenipapeiro foi avaliada de duas maneiras recorrendo-se a análise de estabilidade estática e sísmica.

A análise da estabilidade estática foi realizada pelo método do equilíbrio limite, proposto por Bishop implementado automaticamente através do programa de cálculo SLOPE/W.

Os cálculos da estabilidade foram efetuados sobre a seção mais condicionante no que concerne a estabilidade da barragem, ou seja, a seção de maior altura, tendo sido analisado as seguintes situações.

- a) Final de Construção – taludes de montante e jusante;
- b) Reservatório Cheio (a longo prazo) – talude de jusante;
- c) Rebaixamento Rápido – talude de montante.

A análise da estabilidade sísmica foi desenvolvida através de um método pseudo-estático recorrendo-se ao Método de Bishop Simplificado, também implementado pelo programa SLOPE/W.

No que diz respeito à caracterização da ação sísmica, foi adotado, para a situação de regime permanente, um coeficiente sísmico de 0,1. Para as situações de final de construção e rebaixamento rápido o valor do coeficiente sísmico foi reduzido para 0,05, tendo em conta a menor duração destas fases durante o período de vida da obra e como tal, menor será a probabilidade de ocorrência de um evento sísmico com aceleração superior.

Quanto a obtenção das pressões neutras adotou-se os seguintes procedimentos:

a) Adoção do Coeficiente R_u

Para a situação de final de construção adotou-se o coeficiente R_u . Este coeficiente é definido como a relação entre a pressão intersticial da água num determinado ponto com a tensão vertical nesse ponto através da expressão $R_u = U/\sigma_1$. Esse coeficiente é função do tipo do material. Para materiais de elevada permeabilidade nos quais a dissipação das pressões intersticiais é quase instantânea, o coeficiente toma valores próximos de zero. No limite, o coeficiente R_u pode atingir 0,50 caso se esteja na presença de materiais saturados de baixa permeabilidade.

b) Definição da Linha Piezométrica

Para os casos de regime permanente e rebaixamento rápido, as pressões neutras foram obtidas a partir do traçado da linha piezométrica cujos pontos determinou-se associando a linha freática à parábola de Kozeny teórica fazendo as correções de contorno.

A anisotropia do solo foi contemplada considerando uma relação igual a 9 entre os coeficientes de permeabilidade horizontal/vertical.

c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

Para fazer as análises de estabilidade foi necessário estimar os parâmetros de resistência dos materiais componentes da seção tipo. Sobre os materiais das Jazidas J-01, J-02 e J-03 foram realizados ensaios de cisalhamento direto nos poços, da Jazida J-01, da Jazida J-02 e da Jazida J-03. Os parâmetros efetivos obtidos são apresentados no Quadro nº4.8:

Quadro nº 4.8: Parâmetros Efetivos do Ensaio de Cisalhamento Direto			
Jazida	Furo	Coesão (kgf/cm ²)	Ângulo de Atrito
J - 01	F - 02	C = 0,19	$\phi = 33,1^\circ$
	F - 19	C = 0,12	$\phi = 32,3^\circ$
	F - 22	C = 0,14	$\phi = 31,2^\circ$
J - 02	F - 15	C = 0,15	$\phi = 33,1^\circ$
	F - 20	C = 0,10	$\phi = 32,6^\circ$
	F - 26	C = 0,14	$\phi = 31,5^\circ$
J - 03	F - 15	C = 0,15	$\phi = 31,8^\circ$
	F - 35	C = 0,14	$\phi = 31,3^\circ$
	F - 55	C = 0,14	$\phi = 32,1^\circ$
	F - 93	C = 0,16	$\phi = 33,0^\circ$

Na análise dos estudos geológicos e geotécnicos, foram feitas as seguintes considerações:

- 1) O solo da jazida J-01 enquadra-se na Classificação Unificada USC no tipo SC, com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,779 tf/m³ e umidade ótima de 13,07%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos de $C'=12$ kPa e $\phi'=30^\circ$;
- 2) O solo da jazida J-02 enquadra-se na Classificação Unificada USC no tipo SM, com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,785 tf/m³ e umidade ótima de 13,73%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos de $C'=10$ kPa e $\phi'=30^\circ$;
- 3) O solo da jazida J-03 enquadra-se na Classificação Unificada USC no tipo SC, com densidade aparente seca máxima de laboratório igual a 1,791 tf/m³ e umidade ótima de 13,35%. Os ensaios de cisalhamento direto indicaram parâmetros efetivos de $C'=12$ kPa e $\phi'=30^\circ$.

Das conclusões das análises dos estudos geológicos e geotécnicos e do Quadro nº4.9, foram estimados os parâmetros de resistência dos solos das jazidas J-01, J-02 e J-03. Os demais materiais, tais como areia, brita, enrocamentos, camada de aluvião e maciço rochoso tiveram seus parâmetros avaliados com base em recomendações da literatura e experiência do projetista.

O Quadro nº4.9 mostrado a seguir, indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

Quadro nº 4.9: Parâmetros Geotécnicos				
Material	γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (graus)	R_u
Riprap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço	20,2	10,00	30°	0,10
Filtro / Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00
Cutoff	20,2	10,00	30°	0,10
Aluvião	17,0	0,00	28°	0,05
Solo Residual	21,0	7,00	35°	0,10

4.2.6.1 - Resultados Obtidos

Após o processamento do programa SLOPE/W foram obtidos os seguintes resultados:

a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados no Quadro nº4.10:

Quadro nº4.10: Análise de Estabilidade – Estática				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,950	2,029	2,610
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,753	1,719	1,936
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,737	1,503	1,504
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,147	1,103	1,240

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.

b) Análise Sísmica

Os cálculos efetuados para simular um abalo sísmico foram feitos considerando o corpo da barragem como rígido, sendo que a caracterização da Sísmica se dá através do valor da aceleração máxima esperada na fundação. Esta é considerada constante ao longo do perfil da barragem. Este procedimento é adequado tendo em vista a pequena sísmicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no Quadro nº4.11:

Quadro nº4.11: Análise de Estabilidade – Abalo Sísmico				
Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,499	1,570	2,010
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,375	1,355	1,528
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,358	1,189	1,192
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,012	1,006	1,035

Quanto aos coeficientes de segurança resultantes da análise de estabilidade, verifica-se que estão todos acima dos valores mínimos sugeridos.

4.2.7 - Estudo de Percolação da Barragem

Os estudos de percolação foram realizados com o objetivo principal de avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação. Com esses dados pode-se dimensionar os dispositivos de drenagem interna.

Para a obtenção das vazões de percolação, foi realizado o seguinte procedimento:

- 1) **Vazões do Maciço:** Determinou-se a linha freática, associando esta à parábola de KOZENY, fazendo as correções de contorno. Adotou-se uma anisotropia entre a permeabilidade horizontal e vertical igual a 9, valor recomendado pelo Profº Paulo Cruz no livro 100 Barragens Brasileira, para maciços terrosos compactados com altura até 20,0m;
- 2) **Vazões pela Fundação:** Considerou-se que a camada até 10,0m do maciço rochoso da fundação contribui com vazão para o tapete drenante.

A permeabilidade do maciço da barragem foi adotada a partir das análises dos ensaios de permeabilidade realizados sobre as amostras deformadas das Jazidas J-01, J-02 e J-03. Os resultados dos ensaios são mostrados no Quadro nº4.12:

Jazida J-01		Jazida J-02		Jazida J-03	
Furo	K (cm/s)	Poço	K (cm/s)	Poço	K (cm/s)
02	$8,2 \times 10^{-7}$	15	$1,0 \times 10^{-6}$	02	$8,4 \times 10^{-7}$
06	$6,5 \times 10^{-7}$	20	$9,7 \times 10^{-7}$	15	$7,1 \times 10^{-7}$
19	$7,8 \times 10^{-7}$	26	$6,6 \times 10^{-7}$	23	$7,0 \times 10^{-7}$
22	$6,9 \times 10^{-7}$	41	$7,4 \times 10^{-7}$	26	$6,0 \times 10^{-7}$
-	-	-	-	35	$6,5 \times 10^{-7}$
-	-	-	-	42	$7,9 \times 10^{-7}$
-	-	-	-	48	$6,4 \times 10^{-7}$
-	-	-	-	55	$8,9 \times 10^{-7}$
-	-	-	-	66	$6,8 \times 10^{-7}$
-	-	-	-	82	$1,0 \times 10^{-6}$
-	-	-	-	93	$9,0 \times 10^{-7}$

Para os materiais do areal A-01 que formarão os dispositivos de drenagem interna, adotou-se uma permeabilidade de $7,9 \times 10^{-3}$ cm/s, obtido com base na análise

dos ensaios de permeabilidade realizados sobre as amostras do areal A-01 que são mostrados no Quadro nº4.13:

Quadro nº4.13: Coeficiente de Permeabilidade do Areal-01	
FURO	K (cm/s)
1	$8,0 \times 10^{-03}$
3	$7,8 \times 10^{-03}$
4	$7,5 \times 10^{-03}$
6	$8,1 \times 10^{-03}$
7	$8,3 \times 10^{-03}$

As vazões de percolação obtidas para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna foram:

$$Q_{\text{maciço}} = 1,39 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 3,78 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} \cdot \text{m}$$

4.2.8 - Análise dos Recalques

Os materiais que formam o corpo da barragem são submetidos a deformação elásticas devido a ação do peso próprio. A avaliação desses recalques tem a finalidade de corrigir a cota do coroamento da barragem para compensar o abatimento. Para determinação deste recalque adotou-se uma forma simplificada de cálculo descrita a seguir:

- Dividiu-se o maciço, em sua seção máxima, em lamelas de 2,0m de espessura.
- Para cada lamela determinou-se a tensão vertical no meio da camada.
- Aplicou-se a expressão dada por:

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{mi}}{E_i} \cdot \Delta H_i$$

onde:

S = Recalque total em m

σ_{mi} = Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm^2

ΔH_i = Espessura da lamela

E_i = Módulo de elasticidade do material da lamela i .

O módulo de elasticidade foi obtido da análise das curvas de Tensão x Deformação, obtidos dos ensaios de compressão triaxial realizados em solos semelhantes aos das jazidas do projeto.

Outro aspecto considerado foi a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem, a qual é apresentada no Quadro nº4.14:

Considerando que o peso específico aparente seco máxima obtido do ensaio de compactação é de $1,79\text{tf/m}^3$ e a umidade ótima correspondente é de 13,30%. O peso úmido será de $2,02\text{tf/m}^3$. Com base no peso úmido foram consideradas, para efeito de tensão confinante, as seguintes tensões medidas em função da altura da barragem, tomando como referência o eixo Z, com zero no coroamento e orientação para baixo:

Quadro nº4.14: Tensão Confinante	
Z (m)	Tensão Confinante (kgf/cm^2)
Menor que 5,0m	1,0
Entre 5,0m e 10,0m	2,0
Maior que 10,0m	4,0

Com base nas condições do Quadro nº4.14, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados no Quadro nº4.15:

Quadro nº4.15: Módulo de Elasticidade	
Tensão Confinante (kgf/cm ²)	Módulo de Elasticidade (kPa)
1,0	12.000
2,0	17.000
4,0	19.000

O recalque elástico esperado é de 143,58mm. Esse rebaixamento do coroamento deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário, ao longo de toda a barragem.

4.2.9 - Sangradouro

O sangradouro da Barragem Jenipapeiro foi projetado com base nas informações dos estudos hidrológicos e, principalmente, nas condições geotécnicas do subsolo do local do sangradouro.

O sangradouro da Barragem Jenipapeiro inicialmente foi projetado na estaca 22 da ombreira direita. Contudo, após exame detalhado do perfil das sondagens e das características topográficas, o Consórcio Projetista resolveu mudar a posição do sangradouro mais para a direita.

Com o exposto, o consórcio projetista concebeu um canal sangradouro escavado em rocha, cujo eixo longitudinal encontra-se localizado perpendicularmente ao eixo barravél na estaca 28+17,50. O eixo longitudinal do canal sangradouro possui uma extensão de 258,63 m, estando estaqueado de 20 em 20 metros. As estacas estão nomeadas em quilômetros. O eixo longitudinal do canal sangradouro cruza a estaca 28+17,50 do eixo barravél na estaca 0+076,15.

O canal sangradouro será escavado em rocha na cota 260,00 m, com largura de base de 75,0 m, com talude de 10,0 (V) : 1,0 (H), quando a escavação for em rocha e, um talude de 1,0 (V) : 2,0 (H), quando a escavação for em solo.

Para garantir a cota da soleira do sangradouro, será implantado um cordão de fixação embutido na rocha, com crista na cota 260,00 m. O cordão de fixação se estenderá pelos taludes em rocha do canal sangradouro.

4.2.9.1 - Cálculo da Cota no Lago para as Cheias Milenar e Decamilemar

Para determinação da variação do nível d'água dentro do lago durante a passagem das tormentas de recorrência milenar e decamilenar foi feito o estudo de propagação das cheias pelo Método de Pull, aplicando o programa computacional HEC-1.

Para determinação do coeficiente de descarga do vertedouro foi aplicado o "STEP METHOD" a várias vazões dentro dos limites das vazões estudadas e calculado em cada caso o coeficiente de descarga para o sangradouro em canal escavado com extensão para montante até atingir o lago a cerca de 70,00 m.

Determinou-se $C = 1,414m^{1/2}$ para coeficiente de descarga.

De posse da equação do vertedouro e considerando sempre que a situação de início da cheia encontra o nível d'água na cota da soleira foi feita a simulação, ou seja, a propagação da cheia que são apresentadas a seguir em forma de planilha.

Examinando essas planilhas pode se extrair os seguintes dados:

Tempo de Máxima Elevação do NA (min)	Vazão Amortecida (m ³ /s)	Lâmina (m)	Cota no Lago
CHEIA MILENAR			
2315	125,00	1,10	261,10
CHEIA DECAMILENAR			
1950	173,00	1,40	261,40

4.2.10 - Tomada D'água

A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de $0,143\text{m}^3/\text{s}$, será implantada na estaca 26 do eixo barrável, cujo terreno natural está na cota 254,26m, terá extensão de 70,0m e consistirá de uma galeria tubular de diâmetro $\phi = 400\text{mm}$ de aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 251,50m. O corpo da galeria será envolto em concreto estrutural.

O volume morto da Barragem Jenipapeiro será na cota 252,00m, com um armazenamento de $5,07\text{hm}^3$, correspondente a aproximadamente 11,7% da capacidade do reservatório.

No lado de montante, o extremo da tubulação será protegido por uma caixa de concreto, com grade de barra de ferro chato de malha 100mm x 100mm.

No lado de jusante serão instalados os equipamentos hidromecânicos de controle de vazão, composto por um registro de gaveta e uma válvula borboleta. Será também prevista uma caixa de jusante em concreto armado, com a finalidade de dissipar a energia e medir a vazão das águas de descarga da tomada d'água. A medição de vazão será feita através de um vertedouro triangular isósceles.

4.2.10.1 - Canal da Tomada D'Água

Para a implantação da tomada d'água, foi projetado um canal escavado em solo, com base assente em rocha. O canal projetado terá uma extensão de 330,21m, com largura de base de 3,0m, com talude de 1,0 (V) : 2,0 (H) e escavado até a cota 251,50m.

O eixo longitudinal do canal da tomada d'água está localizado perpendicularmente ao eixo barrável na estaca 26. Quando projetado, o eixo longitudinal do canal foi estaqueado de 20 em 20 metros, nomeados em quilômetros. A estaca 0+000 do eixo do canal está localizado na coordenada UTM 527.331,7073 E e 9.262.334,5194 N e a estaca 0+231,90 está localizado na coordenada UTM 527.226.8703 E e 9.262.160,9038 N. O eixo longitudinal do canal da tomada d'água cruza a estaca 26 do eixo barrável na estaca 0+191,90.

O canal da tomada d'água possui duas curvas circulares com as características descritas no Quadro nº4.16:

Quadro nº4.16: Elementos das Curvas do Canal da Tomada D'Água							
Curva	Tipo	Estaca		AC	R (m)	T (m)	D (m)
		PC	PT				
1	Circular	0 + 098,31	0 + 128,06	56°48'08"	30,00	16,22	29,74
2	Circular	0 + 228,57	0 + 235,00	36°48'42"	10,00	3,33	6,42

4.2.11 - Apresentação do Projeto

No Tomo 6 são apresentados os desenhos do projeto da Barragem Jenipapeiro, como discriminado no Quadro nº4.17 a seguir.

Quadro Nº 4.17: Relação dos Desenhos	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
III – 6 – 01 / 28 – 010	Bacia Hidráulica
III – 6 – 02 / 28 – 010	Boqueirão e Sangradouro – Levantamento Topográfico
III – 6 – 03 / 28 – 010	Perfil Longitudinal pelo Eixo
III – 6 – 04 / 28 – 010	Planta de Locação das Sondagens (01/03)
III – 6 – 05 / 28 – 010	Planta de Locação das Sondagens (02/03)
III – 6 – 06 / 28 – 010	Planta de Locação das Sondagens (03/03)
III – 6 – 07 / 28 – 010	Perfil Geológico (01/02)
III – 6 – 08 / 28 – 010	Perfil Geológico (02/02)
III – 6 – 09 / 28 – 010	Planta Geral da Locação das Ocorrências
III – 6 – 10 / 28 – 010	Locação das Ocorrências
III – 6 – 11 / 28 – 010	Arranjo Geral
III – 6 – 12 / 28 – 010	Perfil da Barragem e Sangradouro
III – 6 – 13 / 28 – 010	Barragem - Seção Máxima e Detalhes
III – 6 – 14 / 28 – 010	Seção Tipo da Barragem

Quadro Nº 4.17: Relação dos Desenhos

DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
III – 6 – 15 / 28 – 010	Seções Transversais (01/05)
III – 6 – 16 / 28 – 010	Seções Transversais (02/05)
III – 6 – 17 / 28 – 010	Seções Transversais (03/05)
III – 6 – 18 / 28 – 010	Seções Transversais (04/05)
III – 6 – 19 / 28 – 010	Seções Transversais (05/05)
III – 6 – 20 / 28 – 010	Tomada D'água – Planta, Cortes e Detalhes
III – 6 – 21 / 28 – 010	Caixa de Montante e Caixa Dissipadora da Tomada D'água
III – 6 – 22 / 28 – 010	Ferragem da Caixa Dissipadora da Tomada D'água
III – 6 – 23 / 28 – 010	Ferragem da Caixa de Montante da Tomada D'água
III – 6 – 24 / 28 – 010	Tomada D'água – Escavação – Planta, Perfil e Seção Tipo
III – 6 – 25 / 28 – 010	Projeto do Sangradouro – Planta, Perfil, Seção Tipo e Detalhes
III – 6 – 26 / 28 – 010	Seções Transversais de Escavação do Sangradouro (01/01)
III – 6 – 27 / 28 – 010	Drenagem Superficial - Planta (01/02)
III – 6 – 28 / 28 – 010	Drenagem Superficial - Detalhes (02/02)

5 - CANTEIRO DE OBRAS

5. CANTEIRO DE OBRAS

A área destinada ao canteiro de obras está localizada na ombreira direita, na plataforma mais elevada.

O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada existente, a qual deverá sofrer melhorias para comportar o tráfego durante as obras. O acesso ao canteiro é feito a partir desta estrada.

Optou-se por instalar o canteiro na ombreira direita pela sua proximidade das obras, ou seja, a 400m da barragem e a 200m do sangradouro. Desta forma é possível concentrar as instalações em um só ponto, facilitando o gerenciamento e a fiscalização dos serviços. Nesta região indicada ao canteiro, há também um ponto para captação de energia elétrica.

A instalação mínima para o canteiro de obras deverá ser composta dos elementos descritos no Quadro nº5.1:

Quadro nº 5.1: Canteiro de Obras	
Item	Descrição
01	Escritório da Administração
02	Laboratório de Solo e Concreto
03	Depósito de Cimento
04	Central de Britagem
05	Posto de Abastecimento de Combustível
06	Oficina Mecânica
07	Almoxarifado
08	Carpintaria
09	Ferraria
10	Armação e Moldagem
11	Alojamento para Pessoal de Apoio
12	Eletrificação
13	Escritório de Supervisão

6 - CRONOGRAMA FÍSICO

6. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Jenipapeiro e com as características climáticas da Região, um prazo de 12 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a seqüência de execução dos serviços a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.

O cronograma de construção, em que são citados os serviços das obras com seus prazos mínimos de execução bem como o período do ano apropriado para desenvolvimento das atividades, é mostrado na figura 6.1.

Considerou-se na concepção do cronograma de construção que as obras de terraplenagem tem seu andamento prejudicado no período chuvoso do ano, devendo, portanto ser executadas no período de estiagem, ao passo que os trabalhos de concretagem poderão ser desenvolvidos em qualquer período do ano.

Tendo em vista estas condições, a construção da barragem deverá ser executada na seguinte seqüência:

- a) Execução do sangradouro;
- b) Execução da tomada de água;
- c) Execução da barragem
- d) Execução da barragem na zona do leito do rio, após o período de chuvas (Fechamento da Barragem).

Assim, o programa de construção desenvolver-se-á conforme descrito a seguir:

Período de Janeiro / Ano 1 a Maio / Ano 1

Nestas etapa, a qual corresponde ao período de chuvas, deverão ser executadas:

- a) escavação do Sangradouro;
- b) escavação da barragem nas ombreiras e no vale do eixo.

- c) Início do tratamento de fundações da barragem.
- d) execução do aterro compactado nas ombreiras
- e) escavação da Tomada d'água
- f) Concretagem da tomada d'água.

Período de Junho / Ano 1 a Outubro / Ano 1

Nesta etapa corresponde ao período seco e deverá ser executado:

- a) Término da escavação do Sangradouro
- b) Concretagem do Sangradouro
- c) Limpeza geral do Vale do rio para retirada dos materiais eventualmente carreados pela cheia;
- d) Tratamento de fundações da barragem
- e) Execução da barragem no vale do rio
- f) Montagem dos equipamentos hidromecânicos.

Período de Novembro / Ano 1 a Dezembro / Ano 1

Neste período deverão ser executados os seguintes trabalhos:

- a) Complementação da barragem até a crista
- b) Acabamento da crista
- c) drenagem superficial

Figura nº 6.1: Cronograma

7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO

7. EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do cronograma de implantação prevista no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento indicada na lista a seguir:

Quadro nº7.1: Equipamento Mínimo		
1.	Trator de esteiras com potência igual ou superior a 270HP	02
2.	Trator de esteiras com Potência igual ou superior a 140HP	02
3.	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	03
4.	Carregadeira frontal com potência igual ou superior a 170HP	04
5.	Motoniveladora com Potência igual ou superior a 125HP	03
6.	Caminhão basculante com capacidade igual ou superior a 6m ³	10
7.	Betoneiras com capacidade mínima de 320l	03
8.	Caminhão pipa com capacidade igual ou superior a 6000l com irrigadeira	04
9.	Rolo compactador autopropelido vibratório pé-de-carneiro de 10 ton ou similar	03
10.	Rolo liso autopropelido vibratório de 10ton ou similar	01
11.	Retro-escavadeira com capacidade igual ou superior a 0,6m ³	02
12.	Conjunto de britagem com capacidade igual ou superior a 20m ³ /h	02
13.	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	02
14.	Compressor de ar portátil c/ capacidade superior a 250pcm	01
15.	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm (pés cúbicos por minuto)	02
16.	Grade de disco com capacidade de 20 discos de 24"	02
17.	Sapo mecânico	02
18.	Marteletes de 24Kg	04