



Dezembro de 2002

**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**



**SRH** Secretaria dos Recursos Hídricos

## **Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PROGERIRH**

**Contrato**

**Nº 02/ PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001**

Estudos de Alternativas, EIAS/RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra / Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada

## **VOLUME III - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM UMARI**

**Tomo 1 - Relatório Geral do Projeto**



**MONTGOMERY WATSON**





MONTGOMERY WATSON



**GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ**

Benedito Clayton Veras Alcântara

**SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Hypérides Pereira de Macedo

**SUB-SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS**

Ramon Flávio Gomes Rodrigues

**COORDENADOR GERAL DOS PROJETOS ESPECIAIS**

Francisco Hoilton Rios Araripe

**CONTRATO Nº 002/PROGERIRH - PILOTO/SRH/CE/2001**  
**EQUIPE DE ELABORAÇÃO**

<b>CONSÓRCIO MONTGOMERY WATSON ENGESOFT</b>	<b>ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO DA SRH</b>
João F. Vieira Neto Engº. Civil Diretor Técnico Engesoft	Ivoneide Ferreira Damasceno Engª. Civil Presidente da Comissão
William Moler Geólogo Gerente do Contrato	Lucrecia Nogueira de Sousa Geóloga Membro da Comissão
Walmir Fernando Duarte Jardim Engº. Civil Coordenador do Projeto	Thereza Cristina Citó Rêgo Engª. Civil Membro da Comissão
José Ribamar Pinheiro Barbosa Engº. Civil Geotecnia e Barragem	Osvan Menezes de Queiroz Engº. Civil Membro da Comissão
Waldir Barbosa de Souza Rodrigues Engº. Civil Barragem	Maria Alice Guedes Geóloga Membro da Comissão
Alysson César Azevedo da Silva Engº. Civil Estudos Básicos e Topografia	Francisco José de Sousa Engº. Agrônomo Membro da Comissão
José Osmar Coelho Saraiva Engº. Civil Hidráulica e Adutora	Maria Elaine Bianchi Geógrafa Membro da Comissão
Sérgio Pontes Engº. Civil Hidráulica e Adutora	Francisco Dário Silva Feitosa Engº. Agrônomo Membro da Comissão
Naimar Gonçalves Barroso Severiano Economista Meio Ambiente e Reassentamento	Nelson L. de S. Pinto Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Marcos César Feitosa Geólogo Levantamento Cadastral	Paulo Teixeira da Cruz Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Paulo Silas de Sousa Engº. Agrônomo Levantamento Cadastral	Ronei Vieira de Carvalho Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Hermano Câmara Campos Geólogo Geologia e Geotecnia	
Raimundo Eduardo Silveira Fontenele Economista Avaliação Financeira e Econômica	



MONTGOMERY WATSON



## **RELATÓRIO GERAL**

---



MONTGOMERY WATSON



## ÍNDICE

---

**ÍNDICE****Páginas**

<b>RELATÓRIO GERAL .....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS .....</b>	<b>11</b>
<b>3. FICHA TÉCNICA.....</b>	<b>15</b>
<b>4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS .....</b>	<b>20</b>
4.1. <i>Generalidades</i> .....	21
4.2. <i>Estudos Hidrológicos</i> .....	21
4.2.1. Apresentação.....	21
4.2.2. Ficha Hidrológica .....	22
4.2.3. Introdução .....	23
4.2.4. Caracterização da Bacia Hidrográfica.....	24
4.2.4.1. Sistema de Drenagem e Açudes Existentes .....	24
4.2.4.2. Solos e Cobertura Vegetal .....	24
4.2.4.3. Geologia e Geomorfologia .....	25
4.2.4.4. Determinação do Número CN .....	25
4.2.5. Caracterização Climática .....	26
4.2.6. Estudo de Chuvas Intensas.....	27
4.2.6.1. Chuvas Máximas Diárias.....	27
4.2.6.2. Chuvas Intensas .....	28
4.2.7. Estudo de Deflúvios.....	29
4.2.8. Estudo das Cheias de Projeto.....	29
4.2.8.1. Precipitação .....	30
4.2.8.2. Precipitação Efetiva.....	31
4.2.8.3. Hidrograma Unitário - SCS .....	31
4.2.8.4. Propagação da Cheia do Reservatório .....	31
4.2.8.5. Resultados .....	32
4.2.9. Dimensionamento do Reservatório.....	32
4.2.9.1. Disponibilidade Hídrica .....	32
4.2.9.2. Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório .....	33
4.2.10. Estudos Adicionais .....	34
4.3. <i>Estudos Cartográficos</i> .....	37
4.3.1. Cartografia .....	37
4.3.2. Transporte de Coordenadas .....	38
4.3.3. Transporte de Cota.....	38



4.3.4. Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro .....	38
4.3.4.1. Locação dos eixos e Implantação de Marcos .....	39
4.3.4.2. Nivelamento .....	40
4.3.4.3. Levantamento de Seções Transversais .....	40
4.3.5. Levantamento do Canal de Restituição .....	40
4.3.5.1. Locação .....	40
4.3.5.2. Nivelamento e Seções Transversais .....	41
4.3.6. Levantamento da Bacia Hidráulica .....	41
4.3.6.1. Cobertura Aerofotogramétrica .....	41
4.3.6.2. Apoio de Campo .....	42
4.3.6.3. Aerotriangulação .....	43
4.3.6.4. Restituição Fotogramétrica .....	43
4.3.7. Levantamento de Jazidas .....	44
4.3.7.1. Jazidas .....	44
4.3.7.2. Areal .....	44
4.3.7.3. Pedreiras .....	45
4.4. Geologia .....	46
4.4.1. Geologia Regional .....	46
4.4.2. Geologia Local .....	47
4.4.3. Levantamento Geológico de Superfície .....	49
4.5. Estudos Geotécnicos .....	49
4.5.1. Investigação do Barramento .....	50
4.5.1.1. Sondagens a Percussão .....	51
4.5.1.2. Sondagens Mistas .....	52
4.5.1.3. Ensaios de Campo .....	54
4.5.1.4. Comentários Sobre as investigações do Barramento no Eixo Final .....	57
4.5.2. Investigação do Sangradouro .....	59
4.5.2.1. Comentários .....	61
4.5.3. Estudo dos Materiais Construtivos .....	63
4.5.3.1. Comentários .....	64
<b>5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM .....</b>	<b>66</b>
5.1. Generalidades .....	67
5.2. Relação de Desenhos .....	68
5.3. Escolha do Eixo Barrado .....	69
5.4. Escolha do Tipo de Barragem .....	72
5.5. Fundação da Barragem .....	72
5.6. Maciço da Barragem .....	74
5.6.1. Descrição da Seção Tipo .....	74
5.7. Análise de Estabilidade .....	81



5.7.1. Considerações Gerais.....	81
5.7.2. Resultados Obtidos .....	85
5.8. Estudos de Percolação pela Barragem e Fundação .....	86
5.9. Análise de Recalques .....	91
5.10. Instrumentação .....	93
5.11. Sangradouro .....	93
5.12. Tomada D'água .....	98
<b>6. CANTEIRO DE OBRA .....</b>	<b>100</b>
<b>7. CRONOGRAMA FÍSICO .....</b>	<b>102</b>
<b>8. EQUIPAMENTO MÍNIMO.....</b>	<b>106</b>
8.1. Relação dos Equipamentos Mínimo.....	107



MONTGOMERY WATSON



## 1. INTRODUÇÃO

---



## 1. INTRODUÇÃO

O Consórcio Montgomery-Watson/Engesoft e a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE) celebraram o Contrato Nº 02/PROGERIRH-PILOTO /CE/SRH 2001, que tem como objetivo o Estudo de Alternativas, EIAs/RIMAs, Levantamentos Cadastrais, Plano de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra, Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada. A ordem de serviço foi emitida em 05 de março de 2001.

O presente trabalho compõe o Volume III – Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Umari situado em Madalena, Ceará, que é formado por sete Tomos, a saber:

**Tomo 1 – Relatório Geral do Projeto;**

Tomo 2 – Desenhos e Plantas;

Tomo 3 – Memória de Cálculo;

Tomo 4 – Especificações;

Tomo 5 – Quantitativos e Orçamento;

Tomo 6 – Planos de Operação e Manutenção;

Tomo 7 – Relatório Síntese.

Neste Tomo é apresentado o Relatório Geral do Projeto que aborda os seguintes capítulos:

- Análise dos Estudos Básicos
  - Generalidades;
  - Estudos Hidrológicos;
  - Estudos Cartográficos;
  - Estudos Topográficos;



- Estudos Geológicos;
- Estudos Geotécnicos.
- Projeto Executivo da Barragem
  - Generalidades;
  - Escolha do Tipo da Barragem;
  - Fundação da Barragem e Cutoff;
  - Maciço da Barragem;
  - Sangradouro;
  - Tomada D'água;



MONTGOMERY WATSON



## **2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

---



## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Barragem Umari será formada pelo barramento do rio Barrigas nas coordenadas UTM N 9.468.435 e E 438.305. A barragem situa-se próxima a localidade de Salgadinho, a cerca de 7Km à montante da sede do município de Madalena, inserida na microregião geográfica da Bacia do rio Banabuiú.

Desde Fortaleza, o acesso ao sítio do barramento é feito através da BR-020, onde percorre-se 164Km (ou seja 7Km antes da cidade de Madalena) até a localidade denominada Salgadinho ( no lado direito da rodovia). Dentro da concentração urbana de Salgadinho toma-se uma estrada carroçal, em direção Oeste, onde após 800m alcança-se o rio no local do eixo do barramento.

No mapa da figura 2.1 é apresentada a localização do barramento no âmbito do estado do Ceará, e na figura 2.2. em escala regional.



Fonte: Atlas do Ceará - IPLANCE.

FIGURA - 2.1  
**MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

**FIGURA - 2.2**

**Localização da Barragem no Âmbito Regional**





MONTGOMERY WATSON



### **3. FICHA TÉCNICA**

---



### 3. FICHA TÉCNICA

A ficha técnica da Barragem Umari é apresentada a seguir, mostrando as principais características da obra:

A curva Cota x Área x Volume e a Tabulação dos seus dados são apresentados a seguir:

<b>FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM UMARI</b>	
<b>IDENTIFICAÇÃO</b>	
Denominação:	Barragem Umari
Estado:	Ceará
Município:	Madalena
Coordenadas Geográficas:	38°32'48"W; 4°48'34"S
Sistema:	Rio Jaguaribe
Rio Barrado:	Barrigas
Proprietário:	Estado do Ceará/SRH
Autor do Projeto:	Consórcio Engesoft/Montgomery
Data do Projeto:	Abril/2002
<b>BACIA HIDROGRÁFICA</b>	
Área:	975 km <sup>2</sup>
Precipitação Média Anual:	642 mm
Evaporação Média Anual:	2.706 mm
<b>CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO</b>	
Área da Bacia Hidráulica (cota 310,00 m):	738,28 ha
Volume Acumulado (Cota 310,00 m):	35,04 hm <sup>3</sup>
Volume Afluente Médio Anual:	43,55 hm <sup>3</sup>
Volume Morto do Reservatório (Cota 302,00 m):	3,33 hm <sup>3</sup>
Volume de Alerta (Cota 304,00 m):	7,49 hm <sup>3</sup>
Vazão Regularizada (90%):	0,390 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Afluente de Projeto ( TR=1.000 anos)	1619m <sup>3</sup> /s
Vazão Max. De Projeto Amortecida (TR=1.000	932 m <sup>3</sup> /s

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM UMARI**

anos):	
Vazão Máxima Afluente de Verificação ( TR=10.000 anos)	1809 m <sup>3</sup> /s
Vazão Max. De Verificação Amortecida (TR=10.000 anos):	1055 m <sup>3</sup> /s
Nível D'Água Max. Normal:	310,00 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=1.000 anos):	313,61 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=10.000 anos):	313,94

**BARRAGEM PRINCIPAL**

Tipo:	Maciço de Seção Homogênea de Terra
Altura Máxima:	21,82 m
Largura do Coroamento:	6,0 m
Extensão pelo Coroamento:	598,80 m
Cota do Coroamento:	315,50 m
Volume de Escavação (Fundação):	40.600 m <sup>3</sup>
Volume do Maciço e Cut-Off::	333.250 m <sup>3</sup>
Volume do Enrocamento (Rip-Rap e Rock-Fill):	32.710 m <sup>3</sup>
Volume de Transições:	13.180 m <sup>3</sup>
Volume de Areia ( Filtro e Transições ):	17.350 m <sup>3</sup>
Volume do Tapete Impermeabilizante de Montante:	114.300 m <sup>3</sup>
Largura Máxima da Base ( sem tapete ):	100,50 m
Talude de Montante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
Talude de Jusante:	1,0 (V) : 2,0 (H)

**BARRAGEM AUXILIAR**

Tipo:	Maciço de Seção Homogênea de Terra
Altura Máxima:	12,72 m
Largura do Coroamento:	6,00 m
Extensão pelo Coroamento:	202,14 m
Cota do Coroamento:	315,50 m
Volume de Escavação (Fundação):	1.700 m <sup>3</sup>

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM UMARI**

Volume do Maciço e Cut-Off:	34.580 m <sup>3</sup>
Volume do Enrocamento (Rip-Rap e Rock-Fill):	3.800 m <sup>3</sup>
Volume de Transições:	2.250 m <sup>3</sup>
Volume de Areia ( Filtro e Transições ):	2.300 m <sup>3</sup>
Largura Máxima da Base:	71,11 m
Talude de Montante:	1,0 (V) : 2,5 (H)
Talude de Jusante:	1,0 (V) : 2,0 (H)

**SANGRADOURO**

Tipo:	Canal Escavado em Rocha
Largura:	60 m
Cota de Sangria:	310,00m
Extensão Total do Canal:	280,00 m
Vazão Máxima Prevista ( TR=1.000 anos )	932 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Prevista (TR=10.000 anos):	1055 m <sup>3</sup> /s
Lâmina Máxima Prevista (TR=1.000 anos):	3,61 m
Lâmina Máxima Prevista (TR=10.000 anos):	3,94 m
Borda Livre:	2,38 m
Volume de Escavação Comum.: Em rocha.:	32.800 m <sup>3</sup> 82.500 m <sup>3</sup>

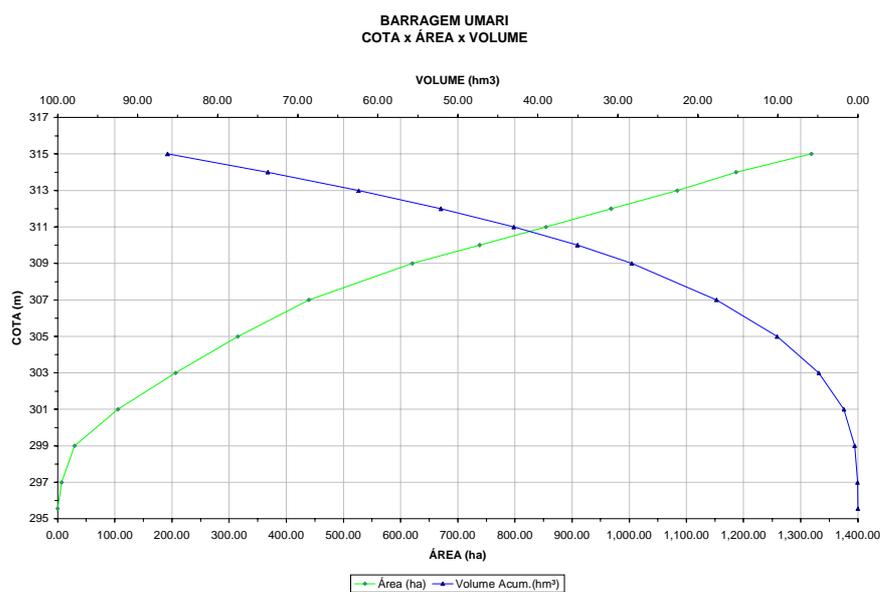
**TOMADA D'ÁGUA**

Tipo:	Tubo de Aço Envolto em Concreto
Localização:	Ombr. Dir. / Est. 42+10,00
Número de Condutos:	1 (um)
Diâmetro:	500 mm
Comprimento do Conduto:	78,00 m
Cota da Geratriz Inferior à Montante:	301,75 m
Cota da Geratriz Inferior à Jusante:	301,50 m
Volume de Concreto Armado:	180 m <sup>3</sup>
Volume de Concreto de Regularização:	38,00 m <sup>3</sup>
Comprimento Total ( incluindo entrada e saída ):	90,0 m



### Barragem: Umari

COTA - ÁREA - VOLUME			
Cota(m)	Área (ha)	Volume (hm <sup>3</sup> )	Volume Acum.(hm <sup>3</sup> )
295.558	0.00	0.00	0.00
297.000	6.86	0.05	0.05
299.000	29.58	0.36	0.41
301.000	105.67	1.35	1.77
303.000	206.32	3.12	4.89
305.000	315.24	5.22	10.10
307.000	439.39	7.55	17.65
309.000	620.58	10.60	28.25
310.000	738.28	6.79	35.04
311.000	854.31	7.96	43.01
312.000	968.31	9.11	52.12
313.000	1,084.09	10.26	62.38
314.000	1,187.04	11.36	73.74
315.000	1,318.70	12.53	86.26





MONTGOMERY WATSON



## **4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS**

---



## **4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS**

### **4.1. GENERALIDADES**

Esse capítulo tem a finalidade de expor de forma sintética os resultados de todos os estudos básicos submetidos a análise pela projetista buscando, obter, em cada caso, as informações que serviram de orientação ao desenvolvimento do Projeto Básico capaz de atender aos anseios da Secretaria dos Recursos Hídricos no que tange aos objetivos esperados, ou sejam, uma obra otimizada do ponto de vista econômico e de engenharia de forma que esse equipamento de infraestrutura possa cumprir o papel social esperado.

### **4.2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

#### **4.2.1. Apresentação**

Os estudos hidrológicos foram apresentados no Tomo 2 que é parte integrante do Volume 1 – Estudos Básicos. A Barragem Umari constitui-se no barramento do Riacho Barrigas, integrante da bacia do Rio Banabuiú, no município de Madalena/CE.

Esses estudos foram desenvolvidos em nove capítulos relacionados a seguir:

- Ficha Hidrológica;
- Introdução;
- Caracterização da Bacia Hidrográfica;
- Caracterização Climática;
- Estudo de Chuvas Intensas;
- Estudos de Deflúvios;
- Estudo de Cheias de Projeto;
- Dimensionamento do Reservatório;
- Estudos Adicionais.



#### 4.2.2. Ficha Hidrológica

A seguir é apresentado a Ficha Hidrológica do Açude Umari trazendo as principais informações coletadas e as calculadas.

### **FICHA HIDROLÓGICA**

#### **Açude Umari**

Município .....	Madalena
Rio ou Riacho Barrado.....	Barrigas
Área da Bacia Hidrográfica .....	975 km <sup>2</sup>
Comprimento do Talvegue Principal.....	65,5 km
Desnível do Talvegue Principal.....	545 m
Precipitação Média Anual .....	642 mm
Escoamento Médio Anual .....	58 mm
Evaporação Média Anual(Tanque Classe A).....	2706 mm
Sangradouro Tipo .....	Canal escavado em rocha
Cota do Sangradouro.....	310,00 m
Largura do sangradouro .....	60 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos.....	932 m <sup>3</sup> /s
Lâmina Máxima de Sangria - TR = 1.000 anos.....	3,61 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos.....	1055 m <sup>3</sup> /s
Lâmina Máxima de Sangria - TR = 10.000 anos.....	3,94 m
Vazão Regularizada a 90% de garantia.....	0,390 m <sup>3</sup> /s
Vazão Regularizada a 95% de garantia.....	0,290 m <sup>3</sup> /s
Vazão Regularizada a 99% de garantia.....	0,190 m <sup>3</sup> /s



#### 4.2.3. Introdução

A realização dos estudos hidrológicos do Açude Umari, tiveram, como finalidade, a obtenção dos elementos hidrológicos para o dimensionamento do reservatório e das estruturas hidráulicas de descarga da obra.

No desenvolvimento do trabalho foram realizados os seguintes estudos:

- Estudo de caracterização da área;
- Coleta e análise das informações das estações climáticas próximas;
- Avaliação do solo na bacia hidrográfica;
- Coleta e análise dos dados das estações pluviométricas localizadas próximas à área;
- Estudo de caracterização do regime pluviométrico;
- Estudo de chuvas intensas.

No estudo das vazões mensais afluentes ao barramento utilizou-se a série afluente ao açude Quixeramobim definida no Plano de Gestão da Bacia do Jaguaribe (COGERH/NGESOFT).

No estudo das cheias de período de retorno 1.000 anos e 10.000 anos utilizou-se o Soft HEC-1 cuja modelagem é baseada no Método do SCS (Soil Conservation Service).

Para subsidiar a escolha da concepção da barragem laminou-se as cheias de 1.000 e 10.000 anos para diversas cotas de sangria e para diversas dimensões alternativas de sangradouro.

Da mesma forma, foi simulado a operação do reservatório para diversos volumes de acumulação, determinando-se as vazões regularizadas com garantia de 99% 95% e 90%.



O maior limitador do volume do açude foi a ponte na BR-020, no riacho Tigre, cuja face inferior da longarina encontra-se na cota=313,84.

#### 4.2.4. Caracterização da Bacia Hidrográfica

A Barragem Umari será implantada no ponto de coordenadas UTM dadas por N 9.468.435 e E 438.305. As informações foram obtidas das cartas da SUDENE na Escala 1:100.000.

##### 4.2.4.1. Sistema de Drenagem e Açudes Existentes

A bacia hidrográfica do Açude Umari tem como principal contribuinte o rio Treme e o próprio rio Barrigas, abrangendo uma área de contribuição de 975 km<sup>2</sup>. Esta representa a área total contribuinte, sendo que, uma vez construída a barragem João Guerra, que localiza-se a montante da barragem Umari, a bacia hidrográfica incremental representara 823,3 km<sup>2</sup>. O rio Barrigas se estende na direção norte – sul, perfazendo, aproximadamente, 65,5 km do ponto mais a montante do sistema de drenagem ate o eixo da barragem.

Foram identificados a montante da Barragem Umari cinco açudes denominados: Fazenda Lajes, São Jose, São Jose de Macaoca, Fazenda Oiti e Umarizeiras.

##### 4.2.4.2. Solos e Cobertura Vegetal

As informações sobre os tipos de solos predominantes na região da barragem Umari foram extraídas do Mapa de Solos do Estado do Ceará da Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária, na Escala 1:800.000.

Os solos dominantes da bacia hidráulica do açude Umari são Ae7 – Solos Aluviais Eutróficos e NC41 - Associação de Bruno Não Cálcico vértico + Bruno Não Cálcico + Solos Litólicos Eutróficos.

A cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Açude Umari possui um bom estado de preservação das matas virgens, pois cerca de 75% da área é coberta por caatinga arbórea e caatinga arbustiva. No entanto, apresenta consideráveis



valores de área alterada ou antropizada, cerca de 25%, o que indica sinal de degradação ambiental nestas áreas.

#### 4.2.4.3. Geologia e Geomorfologia

O projeto está localizado no Complexo Itatira de gnaisses e migmatitos não diferenciados com intrusões graníticas. O complexo está caracterizado por rochas meta - sedimentares constituídas de micaxistos, quartzitos micaceos, paragnaisse calcário, tudo migmatizado. A forte granitização do maciço torna difícil identificar as unidades. O aspecto geral é de gnaisses bandeado. A estrutura regional é constituída de uma série de dobras com direção norte-sul, sendo que a foliação está no mesmo sentido.

#### 4.2.4.4 Determinação do Número CN

CN ou *Curve-Number* é o parâmetro de abstração do Método *Curve-Number* do *Soil Conservation Service* - SCS utilizado neste trabalho para estimativa da precipitação efetiva.

Com as informações do grupo de solo hidrológico da bacia e o uso do solo (classificado de acordo com o Método CN) pode-se determinar o CN a ser adotado no cálculo da precipitação efetiva, ponderando-se estas informações, conforme apresentado na Tabela 4.1 a seguir.

**Tabela 4.1: Determinação do Número CN para a Área da Bacia Hidrográfica Incremental do Açude Umari.**

Uso do Solo de acordo com o Método CN	PERMEABILIDADE (m2)		PONDERAÇÃO CN			
	B	D	CN <sub>B</sub>	PESO <sub>B</sub>	CN <sub>D</sub>	PESO <sub>D</sub>
Plantações regulares em fileiras retas	2.277.000	13.565.700	76	0,00	88	0,02
Florestas Normais	16.390.800	199.123.200	60	0,02	76	0,27
Florestas Esparsas	42.034.500	321.611.400	68	0,06	84	0,43
Estradas de terra de superfície dura	741.600	2.264.400	84	0,00	92	0,00
Pastagens ou terrenos em más condições	25.937.100	125.468.100	79	0,03	89	0,17
Zonas Residenciais c/ Lotes < 500m2	0	5.400	85	0,00	92	0,00
<b>CN GERAL</b>			<b>81</b>			



Determinou-se, portanto, que para o cálculo da precipitação efetiva na bacia do açude Umari deve ser usado CN igual a 81.

#### 4.2.5. Caracterização Climática

Para a caracterização climática da região foram utilizadas as informações da estação meteorológica de Quixeramobim, a qual é a estação geograficamente mais próxima do local da barragem, localizada nas coordenadas UTM N 9.425.214 e E 466.753. As informações com relação a temperatura, insolação, umidade relativa, ventos e evaporação foram extraídas das *Normais Climatológicas - 1961 a 1990* - do INEMET (1992), para a estação meteorológica de Quixeramobim.

Para os dados de precipitação e de evapotranspiração foram utilizados 3 (três) postos pluviométricos localizados dentro e numa distância máxima de 10 km do limite da bacia hidrográfica incremental do açude Umari. No caso da evapotranspiração foram calculados os valores segundo *Hargreaves* (1974)<sup>1</sup> A Tabela 4.2. lista as estações pluviométricas consideradas neste estudo.

**Tabela 4.2.: Estações Pluviométricas consideradas na caracterização climática da bacia hidrográfica do açude Umari.**

Código	Posto	Município	Coordenadas		Elevação (m)	Média Anual (mm)
			Lat.	Long.		
2890078	Itatira	Itatira	4°31' S	39°37' O	450	828,9
2890378	Lagoa do Mato	Itatira	4°40' S	39°37' O	270	566,6
2891407	São José da Macaoca	Quixeramobim	4°42' S	39°28' O	280	607,1

Em síntese, o clima da bacia em estudo é caracterizado pelos indicadores do quadro a seguir:

---

<sup>1</sup> HARGREAVES, G. H. (1974) *Potencial Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil*, Utah State University.



<b>INDICADOR</b>	<b>ÍNDICE</b>
Pluviometria média anual	642 mm
Semestre chuvoso e índice de concentração	Jan/Jun
Trimestre úmido	Mar/Maio
Trimestre seco	Set/Nov
Mês de maior pluviosidade	Março
Temperatura média anual	26,6 °C
Média das temperaturas mínimas	22,8 °C
Média das temperaturas máximas	32,4 °C
Amplitude das médias extremas	22,0 °C
Umidade relativa média anual	65,5 %
Período de maior umidade relativa	Abril
Período de menor umidade relativa	Novembro
Insolação anual	2760 h
Período de maior insolação	Outubro
Período de menor insolação	Abril
Ventos de 1ª predominância	Este/Nordeste
Velocidade média dos ventos	3,2 m/s
Evaporação média anual em tanque classe A	2706 mm
Período de maior evaporação	Set/Out
Período de menor evaporação	Abr/Maio
ETP média anual	1961 mm

#### 4.2.6. Estudo de Chuvas Intensas

Nesse trabalho foi utilizado a série anual de máximos diários da Estação Lagoa do Mato (2890378), por dispor de maior registro de dados e estar localizada na bacia da barragem em questão.

##### 4.2.6.1. Chuvas Máximas Diárias

Diversas distribuições teóricas foram utilizadas para as frequências observadas, porém observou-se a presença de valores não representativos da amostra, provocando uma tendenciosidade nessas distribuições. A forma de tratar esses valores é retirá-los da amostra e aplicar as distribuições, verificando qual a estimativa de período de retorno para o valor retirado após o ajuste.



Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Extremos Tipo I como a que melhor se ajustou, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Tabela 4.3.:

**Tabela 4.3.: Análise de Frequência de Máximos Diários de Chuva.**

**Distribuição Extremos Tipo I**  
**Posto Pluviométrico: 2890378**

TR (anos)	P(1dia)
100	139
1.000	169
1.0000	182

#### 4.2.6.2. Chuvas Intensas

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, que é capaz de registrar a precipitação de 1 dia. Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabeleceu-se uma equação que relaciona Intensidade – Duração – Frequência para a área de influência do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional tem-se o Método das Isozonas de Torrico, 1975.

Os resultados são apresentados na Tabela 4.4.:

**Tabela 4.4.: Estudo de Chuvas Intensas – Precipitações em MM**

**Posto Pluviométrico: 2890378**

TR (anos)	P (1dia)	P (24h)	P (1h)	P (6min)
100	139	153	67	19
1000	169	186	79	23
10000	182	200	83	25



A chuva pontual deve ser reduzida para a chuva em toda a bacia pelo fator de correção igual a 0,68 calculado no Tomo 2 – Estudos Hidrológicos para o açude Umari. A Tabela 3.4., fica então, quando corrigida pelo fator acima, conforme os valores mostrado na Tabela 4.5.:

**Tabela 4.5.: Precipitações Corrigidas**

TR (anos)	P (1dia)	P (24h)	P (1h)	P (6min)
100	95	104	46	13
1000	115	127	54	16
10000	124	137	56	17

#### 4.2.7. Estudo de Deflúvios

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude foi realizada objetivando fornecer elementos para simulação da operação e, conseqüentemente, o dimensionamento do reservatório.

A bacia hidrográfica do açude Umari não possui estação fluviométrica. O Plano de Gestão das Águas da Bacia do Jaguaribe, trabalho realizado pela Engesoft para a COGERH, estudou as séries em toda a bacia e sub-bacias do Jaguaribe, inclusive a bacia do Açude Quixeramobim, que abrange a bacia do açude Umari.

A série do açude Quixeramobim foi, portanto, utilizada por ponderação de área para obtenção da série do açude Umari.

#### 4.2.8. Estudo das Cheias de Projeto

A determinação da cheia de projeto para o dimensionamento do sangradouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão e na precipitação. Diante da escassez dos dados de vazão, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação.

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto: a escolha da chuva de projeto, o hietograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia da bacia e, por fim, o seu



amortecimento no sangradouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o Programa HEC-1.

Para a bacia do Rio Umari foi estudada a sua resposta ao hietograma de projeto correspondente a 1.000 e 10.000 anos de tempo de retorno.

#### 4.2.8.1. Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia do açude Umari foi assumida uma precipitação uniformemente distribuída e utilizado o modelo HEC-1

O hietograma adotado baseia-se nas curvas Altura - Duração - Freqüência obtida nos estudos hidroclimatológicos.

A Tabela 4.6 apresenta a chuva de projeto, obtida das curvas Precipitação - Duração - Freqüência. A precipitação está associada aos tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos e às durações de 5min, 15min, 60min, 2h, 3h, 6h, 12h e 24h:

**Tabela 4.6: Chuva de Projeto na Bacia do açude Umari**

<b>INTERVALO DE TEMPO</b>	<b>P(mm) 1.000 ANOS</b>	<b>P(mm) 10.000 ANOS</b>
5min	16	18
15min	28	33
1h	56	59
2h	68	73
3h	77	82
6h	93	100
12h	111	120
24h	131	141

O hietograma de projeto tem duração superior ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui em  $T_c = 6,3$  horas.

O HEC-1 utiliza estes dados para construir uma distribuição triangular da precipitação.



#### 4.2.8.2. Precipitação Efetiva

O método adotado para o cálculo da precipitação efetiva foi o método Curva Número que é um procedimento desenvolvido pelo serviço de conservação do Solo USDA.

O CN para a bacia do Açude Umari foi estimado em 81, como citado anteriormente na tabela 4.1.

#### 4.2.8.3. Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia.

#### 4.2.8.4. Propagação da Cheia do Reservatório

As técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação de cheias em reservatórios.

Aplicada esta metodologia, obteve-se a curva chave do sangradouro observada a seguir:

**COEFIC. DE MANNING=0.025; COMP. VERTEDEDOR = 300 m ; DECLIVIDADE DO VERTEDEDOR = 0.005 m/m**

VAZOES (m <sup>3</sup> /S)	YC (m)	VC (m/s)	V**2/2* G	E (m)	SF1 (m/m)	U1	SF1-S0 (m/m)	U2	YINIC (m)	LAMINA H(m)	HO (m)
100	0.4137	2.0144	0.2068	0.6205	0.008304	-0.6251	0.003304	0.3661	0.6205	0.611	0.706
300	0.8605	2.9052	0.4302	1.2906	0.006569	0.3053	0.001569	0.776	1.2907	1.025	1.328
500	1.2095	3.4445	0.6047	1.8143	0.005908	0.928	0.000908	1.2005	1.8143	1.34	1.833
700	1.5137	3.8532	0.7567	2.2704	0.005519	1.4426	0.000519	1.5982	2.2705	1.607	2.279
900	1.7898	4.1899	0.8947	2.6845	0.00525	1.897	0.00025	1.972	2.6846	1.843	2.687
1200	2.1681	4.6114	1.0839	3.252	0.004965	2.5073	-3.5E-05	2.4967	3.2522	2.159	3.252
1500	2.5159	4.9674	1.2577	3.7735	0.004759	3.0596	-0.00024	2.9875	3.7738	2.44	3.778
1800	2.841	5.2786	1.4202	4.2612	0.004602	3.5709	-0.0004	3.4514	4.2615	2.693	4.274
2000	3.0477	5.4672	1.5235	4.5712	0.004515	3.8939	-0.00049	3.7484	4.5716	2.85	4.593
2100	3.1485	5.5568	1.5738	4.7223	0.004476	4.0509	-0.00052	3.8936	4.7227	2.924	4.75



#### 4.2.8.5. Resultados

As cheias adotadas para dimensionamento do sangradouro estão associadas aos hietogramas de 1.000 anos e 10.000 anos.

Procurou-se para o açude Umari a menor largura de sangradouro que permitisse que a cheia de 1.000 anos não atingisse a ponte a montante da barragem cuja superestrutura tem cota mínima de 313,84m. Esse valor foi encontrado por tentativas igual a 60 metros.

Para o tempo de concentração da bacia adotou-se uma chuva de duração igual a 24 horas.

Os picos de vazão efluente e lâminas de sangria são mostrados na Tabela 4.7., a seguir, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos:

**Tabela 4.7: Vazões e Lâmina de Sangria**

TR = 1.000 ANOS		TR = 10.000 ANOS	
Q(m <sup>3</sup> /s)	H(m)	Q(m <sup>3</sup> /s)	H(m)
932	3,61	1055	3,94

#### 4.2.9. Dimensionamento do Reservatório

##### 4.2.9.1. Disponibilidade Hídrica

Foi utilizada a série do açude de Quixeramobim para obtenção das vazões regularizadas com 90%, 95% e 99% de garantia a partir do uso do modelo de simulação de reservatórios HEC-3.

Após escolhida a capacidade do açude, foi verificada a influência do açude João Guerra à montante, caso seja construído.

Os resultados destas simulações estão sumarizados na Tabela 4.8. a seguir:

**Tabela 4.8 - Estudo incremental de capacidades do Açude (HEC-3)****Sem o Açude João Guerra à Montante**

V=22,95 hm <sup>3</sup>			V=28,25 hm <sup>3</sup>			V=35,04 hm <sup>3</sup>		
Q(l/s)	Falhas	Gar(%)	Q(l/s)	Falhas	Gar(%)	Q(l/s)	Falhas	Gar(%)
280	100	90%	330	99	90%	390	100	90%
210	52	95%	250	53	95%	290	48	95%
130	10	99%	160	11	99%	190	12	99%

## 4.2.9.2. Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório

O açude Umari foi dimensionado com base no máximo volume acumulável sem atingir a ponte na BR-020.

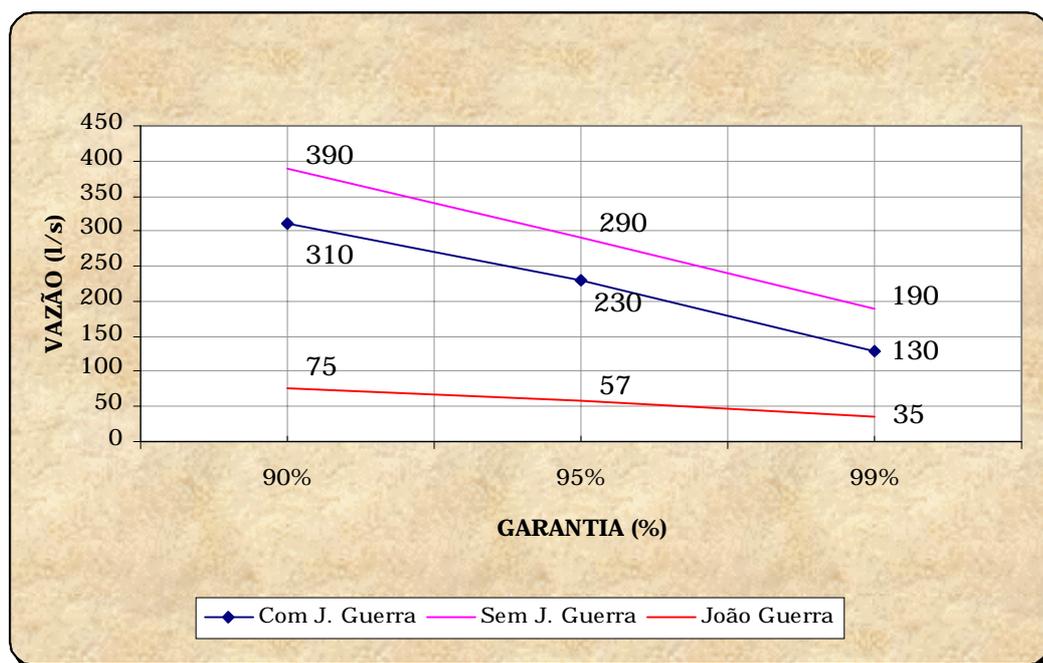
A cota do sangradouro foi, portanto, definida em 310,00 m, acumulando-se um volume de 35,04 hm<sup>3</sup>, o máximo possível sem afetar-se a ponte, cujo fundo da longarina está na cota 313,84m.

A influência do açude João Guerra, caso seja construído, pode ser observada na Tabela 4.9. e na Figura 4.2.9.1 a seguir:

Verifica-se que há uma perda de vazão regularizada no açude Umari maior que o ganho de vazão regularizada no açude João Guerra, alertando para uma ineficiência hidrológica deste último.

**Tabela 4.9.: Vazões Regularizadas - Umari**

Com João Guerra à Montante			Sem João Guerra à Montante		
Q(l/s)	Falhas	Gar(%)	Q(l/s)	Falhas	Gar(%)
310	103	90%	390	100	90%
230	56	95%	290	48	95%
130	13	99%	190	12	99%



**Figura 4.2.9.1: Curva Garantia X Vazão Regularizada  
Açude Umari com e Sem João Guerra**

#### 4.2.10. Estudos Adicionais

Neste capítulo foram realizados estudos adicionais visando fornecer características do reservatório durante a fase de operação. Foi estudado o seguinte:

- A probabilidade de enchimento do reservatório na fase transiente;
- A probabilidade de esvaziamento do reservatório na fase de equilíbrio;
- A probabilidade de extravazamento do reservatório na fase de equilíbrio;
- A curva de esvaziamento do reservatório.

A metodologia empregada tem suporte teórico na teoria estocástica de reservatórios ou Teoria de Moran<sup>2</sup>, apresentando como novidade a inclusão da

---

<sup>2</sup> MORAN, P.A.P. 1959. THE THEORY OF STORAGE. LONDON: METHEUN & COLTD, 111p.



matriz de evaporação para considerar as perdas por esse processo – Método de Campos (1990).

Os resultados desses estudos são apresentados nos seguintes elementos:

- Figura 4.2.10.1 – Análise Probabilística da Garantia do Reservatório – Fase Transiente ( $M = Q_{r90}$ ).
- Tabela 4.10. – Análise Probabilística do Enchimento do Reservatório na Fase Transiente. Reservatório inicialmente seco.
- Figura 4.2.10.2 – Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento – Fase de equilíbrio.
- Tabela 4.11. – Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento – Fase de equilíbrio.

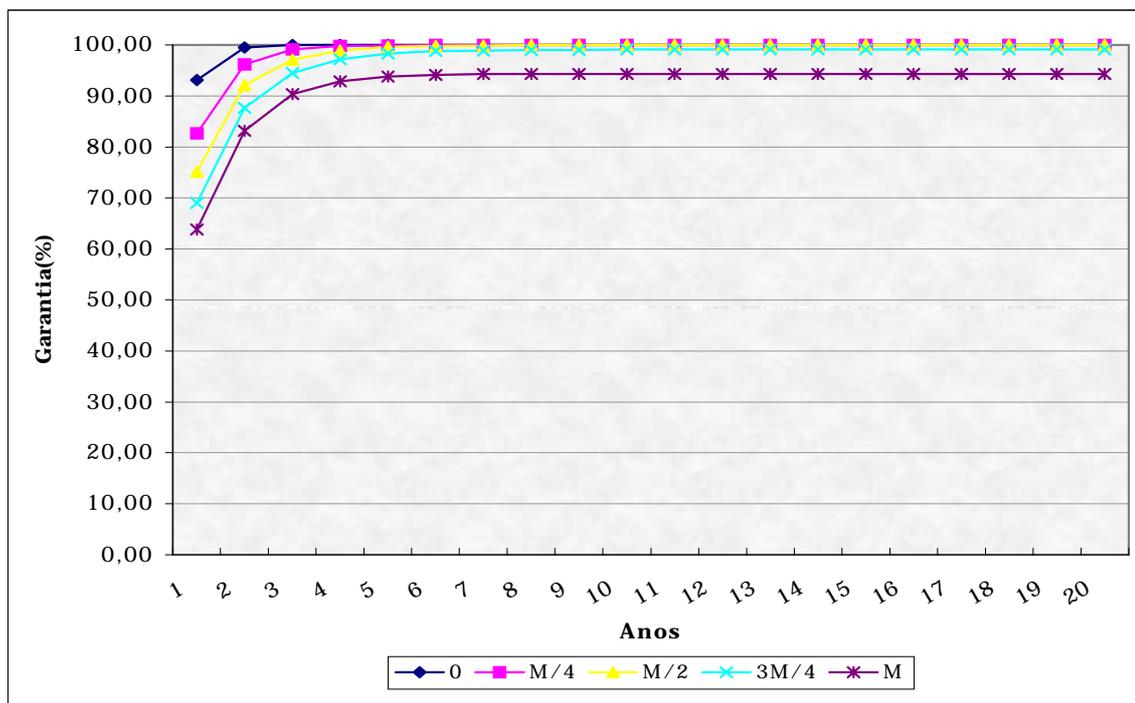
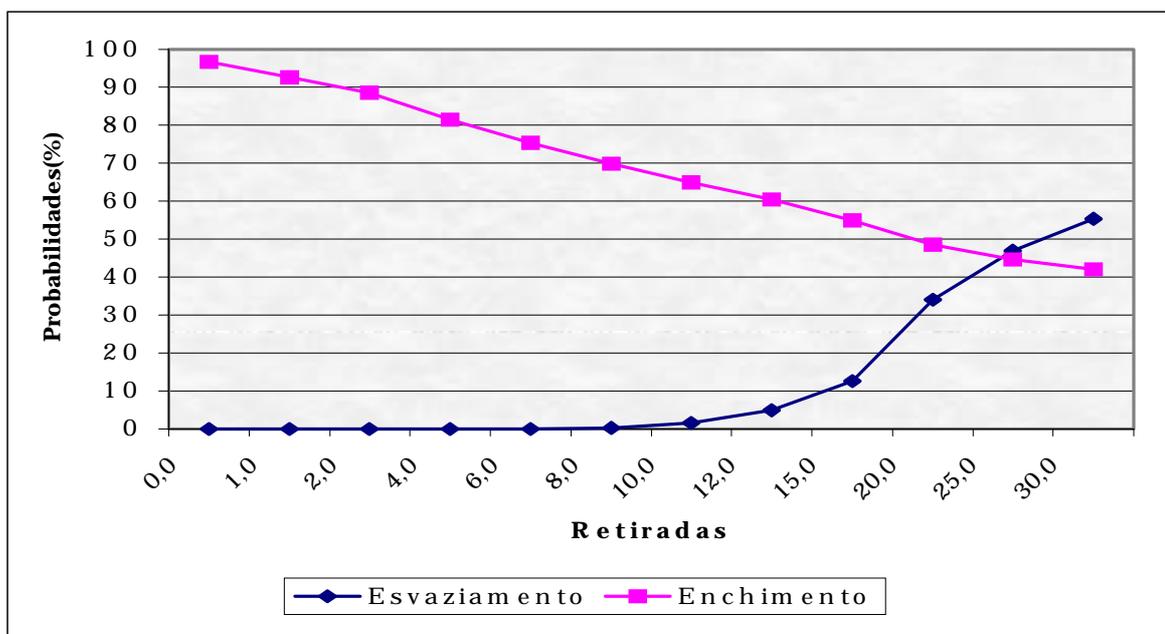


Figura 4.2.10.1 - Análise Probabilística da Garantia do Reservatório - fase transiente ( $M= Q_{r90}$ )



**Tabela 4.10.: Análise Probabilística do Enchimento do Reservatório na Fase Transiente. Reservatório inicialmente seco.**

ANO	RETIRADA (M = Q90)				
	0	M/4	M/2	3M/4	M
1	93.13	82.62	75.13	69.03	63.79
2	99.50	96.19	92.06	87.67	83.20
3	99.96	99.06	97.14	94.48	90.37
4	100.00	99.75	98.90	97.21	92.91
5	100.00	99.93	99.55	98.32	93.81
6	100.00	99.98	99.81	98.76	94.13
7	100.00	99.99	99.91	98.94	94.24
8	100.00	100.00	99.95	99.01	94.28
9	100.00	100.00	99.97	99.04	94.30
10	100.00	100.00	99.97	99.05	94.31
11	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31
12	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31
13	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31
14	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31
15	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31
16	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31
17	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31
18	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31
19	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31
20	100.00	100.00	99.98	99.06	94.31



**Figura 4.2.10.2 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio**



**Tabela 4.11.: Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio**

RETIRADA (hm <sup>3</sup> )	ESVAZIAMENTO (%)	ENCHIMENTO (%)
0.0	0.00	96.6
1.0	0.00	92.6
2.0	0.00	88.6
4.0	0.00	81.4
6.0	0.00	75.4
8.0	0.30	69.9
10.0	1.60	65.0
12.0	5.00	60.5
15.0	12.60	55.0
20.0	34.10	48.6
25.0	46.90	44.7
30.0	55.40	42.1
35.0	99.30	40.4
40.0	100.00	40.4

### 4.3. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS

Este capítulo apresenta a descrição dos serviços de cartografia iniciados preliminarmente com base nas cartas da SUDENE (escala 1:100.000), e desenvolvidos através de reconhecimento a partir da fotointerpretação, restituições aerofotogramétrica e de levantamentos topográficos.

#### 4.3.1. Cartografia

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE digitalizadas em escala 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40 metros; sobre as quais foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica.

As cartas topográficas utilizadas foram:

- Itatira: nº SB-24-V-B-V;
- Quixadá: nº SB-24-V-B-VI;
- Taparuaba: nº SB-24-V-B-II.



A bacia hidrográfica da barragem foi delimitada sobre as cartas da SUDENE e avaliada em 974,86 km<sup>2</sup>.

#### 4.3.2. Transporte de Coordenadas

Adotando-se o sistema de levantamento com GPS (Sistema de Posicionamento Global), foram determinadas as coordenadas dos marcos M-1 na estaca 00 e M-3 na estaca 43+8,45, no eixo da barragem Umari, a partir do *Datum* SAD-69

O quadro a seguir apresenta as coordenadas UTM, longitude e latitude geodésica dos pontos levantados.

Ponto	Estaca	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Este	Norte		
Marco M-1	00	439.375,228	9.468.346,483	39°32'48,19839"WGr	4°48'34,87267"S
Marco M-3	43+8,45	438.531,131	9.468.496,954	39°33'15,59738"WGr	4°48'29,95033"S

#### 4.3.3. Transporte de Cota

O transporte de cota foi realizado por meio de topografia convencional, através de poligonais de nivelamento e contra-nivelamento, tendo sido utilizado para esse trabalho um nível WILD N-1.

Tomou-se como referência de nível o RN nº 1678 P, situado 23 metros à direita do eixo da BR-020, 6 metros aquém da ponte sobre o rio Tigre no sentido Madalena – Canindé, nas coordenadas N = 9.468,4 km e E = 4.439,9 km e cota 336,8183 m.

#### 4.3.4. Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro

Inicialmente foi feito o levantamento topográfico de um eixo situado à aproximadamente 500 metros à jusante da confluência entre os rios Treme e Barrigas, por apresentar condições topográficas muito favoráveis. Porém durante a execução da sondagem, observou-se que na região do sangradouro e da barragem existiam respectivamente rochas decompostas e um pacote aluvionar



espesso, o que resultou no descarte do eixo. Com isso locou-se o eixo definitivo da barragem Umari à aproximadamente 300 metros à jusante do eixo anterior, por apresentar características topográficas e geológicas favoráveis. Esse eixo foi materializado em campo com numeração das estacas seguida da letra “A”, e denominado de eixo final para diferenciação do eixo preterido de montante.

Os levantamentos topográficos do eixo da barragem e sangradouro, foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação; implantação de marcos para futura relocação; nivelamento; e levantamento de seções transversais.

#### 4.3.4.1. Locação dos eixos e Implantação de Marcos

Utilizando-se um Teodolito WILD T-1, locou-se o eixo da barragem e sangradouro, o qual foi materializado a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

O ponto de partida, estaca 00, está localizado na ombreira esquerda, onde foi implantado o marco de concreto M-1. Buscando uma melhor locação seguindo o divisor de águas, se fez necessária uma deflexão de  $19^{\circ}30'$ , à direita, na estaca 10, onde o marco M-2 está instalado; e outra de  $48^{\circ}00'$ , também à direita, na estaca 44+3,35 no interior de uma casa, obrigando a implantação de dois marcos fora da casa, M-3 e M-4 nas estacas 43+8,45 e 45+2,84 respectivamente. Na ombreira direita encontra-se a estaca final do eixo (56+10,00), onde está instalado o marco M-5, totalizando 1.130 metros de comprimento.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados:

Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
M-1	00	439.375	9.468.346
M-2	10	439.177	9.468.329
M-3	43+8,45	438.531	9.468.497



Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
M-4	45+2,84	438.506	9.468.517
M-5	56+10,00	438.401	9.468.719

#### 4.3.4.2. Nivelamento

O levantamento altimétrico da barragem Umari, foi realizado utilizando-se um nível WILD N-1, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado.

#### 4.3.4.3. Levantamento de Seções Transversais

Foram levantadas seções transversais ao eixo da barragem e sangradouro a cada 20 metros, com utilização de nível e mira. As seções abrangeram uma faixa de domínio com largura de 150 metros à montante e à jusante, e se constituíram de pontos cotados a cada 20 metros, considerando também os pontos de destaque do relevo topográfico.

#### 4.3.5. Levantamento do Canal de Restituição

O canal de restituição da barragem Umari, foi levantado plani-altimetricamente através de processos topográficos convencionais, constando de: locação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

##### 4.3.5.1. Locação

Locou-se o canal de restituição utilizando-se um Teodolito WILD T-1, o qual foi estaqueado e numerado a cada 50 metros, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis do relevo.

A partir da estaca 04 do eixo da barragem/sangradouro, foi locada a poligonal do canal de restituição com 1.065 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até o rio Barrigas.



#### 4.3.5.2. Nivelamento e Seções Transversais

Utilizando-se um nível WILD N-1, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, através de seccionamento a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros. A partir desse levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro.

#### 4.3.6. Levantamento da Bacia Hidráulica

Para a execução dos serviços 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, totalizando 94 km<sup>2</sup> e mapas digitais na escala 1:5.000, da bacia hidráulica que totalizaram 31,02 km<sup>2</sup>.

Os serviços foram desenvolvidos de acordo com as normas de aerolevantamentos vigentes, os quais estão abordados nos seguintes tópicos:

- Cobertura Aerofotogramétrica;
- Apoio de campo;
- Aerotriangulação;
- Restituição digital em escala 1:5.000.

##### 4.3.6.1. Cobertura Aerofotogramétrica

A cobertura aerofotogramétrica foi realizada com aeronave especialmente adaptada à tomada de fotografias aéreas, equipada com piloto automático e equipamento rastreador de satélites do sistema NAVSTAR – GPS, para a orientação do voo, equipada com câmara aerofotogramétrica automática, grande angular e distância focal calibrada, próxima de 152 milímetros e formato útil de 23x23 centímetros.



A câmara aérea foi instalada de tal maneira que a objetiva não fosse atingida por respingos de óleo ou reflexos de raios solares e equipada com objetiva de alta qualidade e com poder resolutivo capaz de registrar os menores detalhes, sem distorções, admitindo-se, no mínimo, 100 linhas por milímetro de poder resolutivo e distorção inferior à  $\pm 0,01$  milímetro. Possui, como acessórios: filtros especiais para a obtenção de fotografias pancromáticas coloridas, exposímetro eletrônico e magazines intercambiáveis de reserva.

A câmara foi equipada com controlador automático de recobrimento e deriva, com mecanismo de integração com GPS de navegação e com chassis com suspensão giro-estabilizada. Esta possui Certificado de Calibração, fornecido pelo fabricante, realizado a um ano.

#### 4.3.6.2. Apoio de Campo

Na Barragem Umari foram implantados 04 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. De cada marco foi elaborada uma monografia que se encontra no *Tomo 3B – Estudos Cartográficos – Memória de Cálculo, do Volume I – Estudos Básicos*.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Umari tivemos na planimetria origem no V. GROSSO (BICO FINO) do IBGE de latitude 04°38'48,71811" S e longitude 39°25'46,65631" W e altitude de 482,00 m, e chegada no Vértice BARRA do IBGE de latitude 04°31'43,19058" S e longitude 39°23'55,08873" e altitude de 566,53 m.

Foram implantados os vértices M-01 a M-04 e sua determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

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



Os vértices implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem a RN 1678 P e a chegada RN 1678 U ambas do IBGE com precisão de  $11mm\sqrt{K}$  em uma distância de 27,0098 km.

Referência	Cota (m)
RN 1678 P	336,8183
RN 1678 U	326,4929

#### 4.3.6.3. Aerotriangulação

As imagens para a geração dos trabalhos foram obtidas a partir da scanerização dos negativos fotogramétricos na escala de 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 escanerização executada conforme estabelecido acima.

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

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

#### 4.3.6.4. Restituição Fotogramétrica

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

Elementos Cartográficos representados:

Sistema hidrográfico;

Altimetria;



## Referências de nível.

A altimetria foi definida até a cota 315 mais 100 metros, para maior segurança dos dados do projeto, perfazendo um total de 31,02 km<sup>2</sup> de área restituída.

Todos os trabalhos seguiram as INSTRUÇÕES REGULADORAS DAS NORMAS TÉCNICAS DA CARTOGRAFIA NACIONAL, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

### 4.3.7. Levantamento de Jazidas

As áreas das ocorrências de materiais construtivos para execução da barragem Umari, foram amarradas a partir do eixo barrável, através de poligonais locadas com a utilização de um teodolito WILD T-1. As ocorrências objeto do levantamento planimétrico foram: Jazidas J-1 e J-2 de material terroso; Areal; e Pedreira.

#### 4.3.7.1. Jazidas

Foram estudadas duas jazidas para construção da barragem de terra. Inicialmente locou-se a poligonal de amarração das jazidas J-1 e J-2 em relação ao eixo barrável, em seguida, através de uma linha base auxiliar, todos os poços escavados para investigação geotécnica das jazidas foram locados, numerados e amarrados.

A tabela 3.12., apresenta a quantidade de furos, a área levantada e a distância de cada jazida, do primeiro furo locado ao eixo barrável:

**Tabela 4.12.: Estudo das Jazidas**

Local	Quantidade de Furos	Área (ha)	Estudo da Poligonal (m)
Jazida J-1	229	42,64	770,00
Jazida J-2	52	8,10	923,00

#### 4.3.7.2. Areal

Para execução do filtro de areia e fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem Umari, foram realizadas investigações geotécnicas por



meio de poços à pá e picareta, ao longo do areal do rio Barrigas. A Tabela 3.13., a seguir, apresenta as coordenadas destes poços:

**Tabela 4.13.: Estudo do Areal**

Furo	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
01	438.738	9.468.186
02	438.785	9.468.329
03	438.830	9.468.472
04	438.890	9.468.610
05	438.966	9.468.740
06	438.978	9.468.890
07	439.004	9.469.036
08	439.075	9.469.166
09	439.129	9.469.306
10	439.249	9.469.393
11	439.309	9.469.532
12	439.248	9.469.669
13	439.249	9.469.818
14	439.385	9.469.879
15	439.520	9.469.949
16	439.650	9.470.024

#### 4.3.7.3. Pedreiras

A pedra de onde será extraído o material pétreo necessário para a construção da barragem, foi locada através de uma poligonal com aproximadamente 770 metros de extensão. As investigações na pedra, foram realizadas por meio de sondagens rotativas, as quais estão locadas e apresentadas na tabela 4.14 a seguir:

**Tabela 4.14: Estudo da Pedreira**

Sondagem	Cota (m)	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
FP-1	331,284	437.982	9.468.252
FP-2	323,496	438.061	9.468.216
FP-3	333,102	438.015	9.468.184



Selecionou-se, também, duas outras ocorrências alternativas que situam-se, uma na margem da BR-020, em local anteriormente explorado para a construção da própria rodovia, e a outra na ombreira esquerda a cerca de 500 metros à montante do eixo, próxima ao povoado de Salgadinho. Estas alternativas não foram sondadas mecanicamente e suas localizações foram aferidas com GPS manual, registrando-se:

Pedreira Alternativa	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
Margem da BR-020	438.926	9.467.126
Ombreira Esquerda (500 m à montante)	439.355	9.469.012

#### 4.4. GEOLOGIA

A bacia hidrográfica do Açude Umari está situada na microregião geográfica denominada de sertão de Quixeramobim, no Estado do Ceará, com uma área total de 975 km<sup>2</sup>, numa região em que predominam as rochas do embasamento cristalino.

##### 4.4.1. 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 Fortaleza, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais através do convênio DNPM/CPRM, em 1981, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Fortaleza.

A rede hidráulica na região é comandada pela bacia do rio Banabuiú, refletindo as condições climáticas da região, com rios e riachos intermitentes, fluindo somente na época das chuvas e secando completamente no período de estiagem. Alguns rios e riachos obedecem os sistemas ortogonais de fraturas das rochas, predominando, entretanto, o padrão dendrítico, condicionados pela rochas cristalinas.



As feições morfológicas são condicionadas aos tipos litológicos identificados, pertencendo via de regra ao extenso pediplano de rochas cristalinas que predomina na região. Esse pediplano de rochas pré-cambrianas é formado por um conjunto profundamente arrasado com cotas em torno de 300m de altitude. Algumas vezes a monotonia de formas suavemente onduladas é interrompida por morros e serrotes residuais, formados por migmatitos e granitóides mais resistentes.

No âmbito regional, com referência ao Pré-Cambriano, foram identificadas cinco unidades lito-estratigráficas, diferenciadas e agrupadas com base nas características litológicas, portanto, indiferenciadas estratigraficamente, sem que seja estabelecida sua sucessão espacial e temporal, distinguindo as seguintes unidades: Complexo Caicó; Rochas Plutônicas Granulares; Complexo Independência; Grupo Ceará; Diques ácidos; Diques Básicos e Aluviões.

Estruturalmente a região é caracterizada pela presença de blocos falhados, condicionados a falhamentos transcorrentes, cujos expoentes são as falhas do Rio Groaíras, de Tauá e de Sabonete-Inharé, todas elas de movimentos relativos levógiros. Estes falhamentos comandam toda a estruturação das litologias e impõem às mesmas uma orientação tectônica nos seus constituintes mineralógicos, bem como a concordância dos corpos plutônicos segundo o “trend” regional. Estes falhamentos também acarretam deformações tectônicas nas rochas, principalmente cataclásticas. A falha do rio Groaíras possui uma direção NW-SE com rejeito à esquerda e se estende por mais de 150Km. A estruturação linear das rochas presentes na área é afetada pelos falhamentos supracitados, acarretando uma mudança na foliação com relação ao “trend” regional que é NE-SW, passando a dominar a orientação segundo NW-SE, condicionada por uma sequência de dobramentos anticlinais e sinclinais.

#### 4.4.2. Geologia Local

A área estudada fica situada no município de Madalena, próximo à localidade de Salgadinho, no estado do Ceará.



A geologia local no sítio onde se situará barramento, sangradouro e bacia hidráulica é constituída litologicamente por rochas que compõem todas as unidades citadas na geologia regional. Há um predomínio das rochas cristalinas Pré-Cambrianas que formam o complexo gnaissico-migmatítico denominado de Complexo Caicó, muitas vezes recortadas por veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos. Foram identificadas ocorrências de rochas plutônicas granulares, constituídas principalmente por granitos, ora do tipo equigranular, ora do tipo porfiróide, em alguns locais apresentando orientação dos seus constituintes mineralógicos, com granulação também variável, podendo ser fina, média ou grossa. Essas rochas formam corpos alongados segundo a direção preferencial NW-SE, concordante com a foliação da rocha encaixante que é representada pelos gnaisses migmatíticos. Também de forma concordante com a foliação dominante, ocorre uma extensa e estreita faixa de micaxistos, ricos em biotita, com xistosidade bem acentuada, algumas vezes intercalados com hornblenda-biotita-gnaisses e com lentes de anfibolitos. Ainda de forma menos expressiva foram visualizadas próximo ao local do eixo da barragem auxiliar ocorrências de quartzito intercaladas entre os granitos e o micaxisto.

Ao longo dos riachos Treme, Umari e Sabonete se formam os depósitos aluvionares, compostos predominantemente de areias de granulometria média a grossa, nos leitos dos rios, e de silte areno-argiloso nas margens, algumas vezes formando extensos e planos terraços aluvionares.

A rede de drenagem está condicionada às linhas estruturais das rochas pré-cambrianas, em que os rios e riachos obedecem os sistemas ortogonais de fraturamento das rochas. Muitos riachos e grota apresentam curso bastante retilíneo no seu talvegue, representando um alinhamento estrutural de fraturamento.

A lineação estrutural predominante, visualizada nas fotografias aerofotogramétricas e checadas em campo, em toda a extensão da bacia hidráulica, se dá segundo a direção NW-SE.



#### 4.4.3. Levantamento Geológico de Superfície

O levantamento geológico de superfície efetuado ao longo do eixo topográfico locado e na área de ocupação da bacia hidráulica teve como objetivo principal a identificação e classificação dos tipos litológicos, através da análise petrográfica visual das ocorrências, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos, já que via de regra, no âmbito regional, considerando-se em caráter mais abrangente, todas essas litologias pertencem a uma associação metamórfica que compõe o Complexo Cristalino do Pré-Cambriano.

Estruturalmente, nenhuma ocorrência de importância local foi identificada nessas áreas, destacando-se apenas um fraturamento coincidente com o contato entre o quartzito e o biotita-xito. Evidenciado pelo talvegue retilíneo de uma grota.

A partir de 249 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que se dá segundo NE-SW, concentrando-se principalmente entre N50°Az a N60°Az, representando um percentual de 20,5% do total medido e entre N60°Az a N70°Az, representando 18,5%. O mergulho se dá preferencialmente subvertical (60° a 80°) para SE.

#### 4.5. ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos da Barragem Umari constituem a realização de prospecções mecânicas de superfície no local do barramento e sangradouro, aos ensaios in situ executados nestas prospecções. Além disso, foram realizadas investigações nas áreas de ocorrências de materiais construtivos e os ensaios laboratoriais executados a partir de amostras representativas extraídas das ocorrências.

Os estudos geotécnicos foram abordados nos seguintes tópicos, a saber:

Investigação do Barramento;



Investigação do Sangradouro;

Estudos dos Materiais Construtivos.

#### 4.5.1. Investigação do Barramento

As investigações geotécnicas realizadas no local da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Iniciou-se as sondagens mecânicas num eixo escolhido pelas suas condições topográficas favoráveis, chamado Eixo Montante. Posteriormente, com o andamento das investigações, foram verificadas condições geotécnicas adversas na calha do rio e no local do sangradouro, que inviabilizaram a escolha do eixo. Pesquisou-se novas alternativas e foi eleito um eixo a cerca de 300m a jusante que mostrou-se geotecnicamente favorável, dito Eixo Final.

No eixo adotado (Final) foram realizadas 22 prospeções mecânicas, na região dos barramentos principal e auxiliar, sendo 17 sondagens à percussão e 5 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa). No eixo montante (descartado) foram executadas 18 prospeções mecânicas, constando de 10 à percussão e 8 mistas.

Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em furos de sondagens no eixo da barragem. No trecho em solo das sondagens mistas e nas percussivas, estes testes consistiram de ensaios de infiltração de carga e vazão constante (Lefranc) e, no trecho perfurado com sonda rotativa, de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon).



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

#### 4.5.1.1. Sondagens a Percussão

As sondagens a percussão na área do barramento, em ambos os eixos, montante (descartado) e eixo final, totalizaram 203,65m.

Nas tabelas 4.15.e 4.16., a seguir, são relacionadas as sondagens percussiva executadas no eixo de montante (abandonado) e no eixo final. Suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

**Tabela 4.15.: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Umari**  
**Sondagem Percussiva - Eixo Montante (descartado)**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada (m)	SPT Mínimo (N)	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-1	9 (40m Montante)	439.089	9.468.759	303,143	2,55	5	Pouco compacta
SP-2	9 (40m Jusante)	439.081	9.468.679	301,666	0,97	23	Medianamente compacta
SP-3	12 (eixo)	439.026	9.468.725	300,597	3,73	5	Pouco compacta
SP-4	18 (eixo)	438.906	9.468.738	300,248	10,04	3	Fofa
SP-5	21 (40m Montante)	438.851	9.468.784	299,788	15,08	4	Fofa
SP-6	21 (40m Jusante)	438.842	9.468.704	299,408	14,84	4	Fofa
SP-7	23 + 10 (eixo)	438.797	9.468.749	299,506	13,70	3	Fofa
SP-8	27 (eixo)	438.727	9.468.756	299,452	9,45	3	Fofa
SP-9	27 (40m Montante)	438.751	9.468.796	299,417	14,06	2	Fofa
SP- 10	27 (40m Jusante)	438.723	9.468.717	299,117	11,75	6	Pouco compacta

**Tabela 4.16. : Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Umari****Sondagem Percussiva - Eixo Final**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-1 A	18 (eixo)	439.022	9.468.369	303,84	4,96	29	Medianamente compacta
SP-2 A	23 (eixo)	438.925	9.468.394	299,423	2,75	5	Pouco compacta
SP-3 A	23+10 (eixo)	438.916	9.468.397	299,652	3,67	5	Pouco compacta
SP-4 A	25 +10 (40m Montante)	438.887	9.468.446	296,745	4,08	4	Fofa
SP-5 A	29 + 7 (40m Jusante)	438.792	9.468.388	296,305	12,03	3	Fofa
SP-6 A	29 + 7 (eixo)	438.802	9.468.426	295,983	6,91	3	Fofa
SP-7 A	29 +7 (40m Montante)	438.812	9.468.465	296,095	3,94	4	Fofa
SP-8 A	30 +10 (40m Montante)	438.790	9.468.471	296,938	8,45	6	Pouco compacta
SP-9A	30 +10 (40m Jusante)	438.770	9.468.393	296,429	10,80	3	Fofa
SP- 10 A	33 (eixo)	438.732	9.468.445	298,956	13,75	3	Fofa
SP- 11 A	35+ 10 (40m Montante)	438.693	9.468.496	298,148	13,98	5	Pouco compacta
SP- 12 A	35+ 10 (40m Jusante)	438.673	9.468.419	298,711	14,28	4	Fofa
SP- 13 A	38 (eixo)	438.635	9.468.470	299,326	4,23	17	Compacta
SP- 14 A	48+5 (B. Auxiliar)	438.477	9.468.572	308,994	2,43	30	Compacta
SP- 15 A	53 (B. Auxiliar)	438.433	9.468.657	309,181	1,22	36/13	Muito compacta
SP-22 A	15 (Eixo)	439.080	9.468.354	308,610	0,50		
SP-23 A	41+10 (Eixo)	438.567	9.468.488	310,500	0,65		

**4.5.1.2. Sondagens Mistas**

No local do eixo a Montante (descartado), foram executadas 8 sondagens mistas, totalizando 112,99 m, dos quais 47,55 m com emprego de sonda percussiva e 65,44 m com sonda rotativa.



No local do eixo Final, foram executadas 5 sondagens mistas, totalizando 89,45 m, dos quais 39,14 m com emprego de sonda percussiva e 50,31 m com sonda rotativa.

Nas tabelas 4.17. e 4.18. a seguir, são relacionadas as sondagens mistas no eixo de Montante (abandonado) e no eixo final, informadas suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.

**Tabela 4.17: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Umari**  
**Sondagem Mista - Eixo Montante (descartado)**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-1	5 + 10	439.155	9.468.712	304,273	3,47	9,03	2	Gnaiss, moder. dura a muito dura, gran fina, foliada
SM-2	9	439.085	9.468.719	299,687	1,49	12,01	7	Gnaiss, muito dura, gran fina, foliada
SM-3	15	438.966	9.468.731	296,075	6,10	15,04	3	Gnaiss, moder. dura a muito dura, gran fina, foliada
SM-4	15 (40m Mont)	438.970	9.468.771	296,077	6,65	14,35	2	Biotita xisto, muito dura, gran fina, xistosa
SM-5	15 (40m Jus.)	438.962	9.468.692	296,075	1,49	15,01	4	Gnaiss, macia a muito dura, gran fina, foliada
SM-6	21	438.847	9.468.744	299,302	15,39		3	Não avançou no substrato rochoso
SM-7	28	438.707	9.468.758	298,974	5,93		6	Não avançou no substrato rochoso
SM-8	30+10	438.658	9.468.764	304,957	7,03		22	Não avançou no substrato rochoso

**Tabela 4.18.: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Umari****Sondagem Mista - Eixo Jusante (final)**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-4 A	19 (Eixo)	439.003	9.468.374	302,475	5,86	10,14	13	Biotita Xisto muito macia a muito dura, gran fina xistosa
SM- 6 A	30+ 10	438.780	9.468.432	296,997	13,18	12,38	3	Biotita Xisto muito macia a muito dura, gran fina xistosa
SP- 7 A	35+ 10	438.683	9.468.457	298,764	14,60	9,29	4	Biotita Xisto dura a muito dura, gran fina xistosa
SM-8 A	40	438.616	9.468.475	304,579	3,15	9,85	21	Biotita Xisto muito macia a dura, gran fina xistosa
SM-9 A	51 (B Aux)	438.452	9.468.621	302,783	2,35	8,65	14	Biotita Xisto macia a muito dura, gran fina xistosa

**4.5.1.3. Ensaios de Campo**

Nas sondagens mistas, trecho em solo, e nas percursivas foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para determinação de permeabilidade “in situ” do substrato terroso.

No trecho em rocha, foram executados ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso.

Os resultados de cada ensaios são apresentados nas tabelas 4.19. e 4.20.



**Tabela 4.19: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Umari**  
**Ensaio de Campo - Eixo Montante (descartado)**

Nº	Estaca	Extensão Sondada	Nº de Ensaio Lefranc	Nº de Ensaio Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d'água Específica Registrada	Profundidade de máxima Permeab. / Perda D'água
SM-1	5 + 10 (eixo)	12,50	2	3	9,1x10E-4	1,14	1,5 a 2,0 /4,0 a 7,0
SM-2	9 (eixo)	13,50	1	4	4x10E-5	0,23	1,0 a 1,46 /2,0 a 5,0
SM-3	15 (eixo)	21,14	5	5	1,6x10E-3	1,90	5,0 a 6,0 /6,5 a 9,5
SM-4	15 (40m M)	21	7	3	4x10E-4	0,19	6,5 a 9,5 /15,0 a 18,0
SM-5	15 (40m J)	16,50		5		0,16	/8,0 a 11,0
SM-6	21 (eixo)	15,39	15		10E-2		11,5 a 12,0
SM-7	28 (eixo)	5,93	5		3,8x10E-5		5,0 a 5,93
SM-8	30+ 10 (eixo)	7,03	6		6,3x10E-5		6,0 a 7,03

**Tabela 4.20.: Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Umari****Ensaio de Campo - Eixo Final**

Nº	Estaca	Extensão Sondada	Nº de Ensaio Lefranc	Nº de Ensaio Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d'água Específica Registrada	Profundidade de máxima Permeab. / Perda D'água
SM - 4A	19 (eixo)	18.94		5		0,24	/7,0 a 10,0
SM - 5A	25+10 (eixo)	16.0	7	3	2,9x10E-4	0,34	2,5 a 3,00 /14,0 a 16,0
SM - 6A	30+10 (eixo)	25.56	12	4	5,7x10E-3	0,34	10,5 a 11,0 /14,0 a 17,0
SM - 7A	35+10 (eixo)	23.89	14	3	1,7x10E-3	0,07	13,5 a 14,0 /15,0 a 18,0
SM - 8A	40 (eixo)	13	3	3	9,8x10E-5	0,31	1,5 a 2,0 /10,0 a 13,0
SM - 9A	51 (eixo)	11.0	2	3	2,3x10E-5	0,13	6,0 a 9,0 /1,5 a 2,0
SP - 1A	18 (eixo)	4,96	4,00		1,7x10E-5		3,5 a 4,0
SP - 2A	23 (eixo)	2,75	2,00		2,9x10E-5		1,50 a 2,0
SP - 3A	23+10 (eixo)	3,67	3,00		9,6x10E-4		2,5 a 3,0
SP - 4A	25+10 (40m Mont.)	4,08	3,00		5,7x10E-4		1,5 a 2,0
SP - 5A	29+7 (40m Jus.)	12,03	11,00		8,8x10E-4		3,5 a 4,0
SP - 6A	29+7 (eixo)	6,91	6,00		1,1x10E-3		2,5 a 3,0
SP - 7A	29+7 (40m Mont.)	3,94	3,00		9x10E-4		1,5 a 2,0
SP - 8A	30+10 (40m Mont.)	8,45	8,00		10E-3		7,5 a 8,0
SP - 9A	30+10 (40m Jus.)	10,80	10,00		1,2x10E-3		6,5 a 7,0
SM - 10A	33 (eixo)	13,75	13,00		1,2x10E-2		6,5 a 7,0
SM - 11A	35+10 (40m Mont)	13,98	13,00		8,3x10E-4		10,5 a 11,0
SM - 12A	35+10 (40m Jus.)	14,28	14,00		2,3x10E-3		14,0 a 14,28
SM - 13A	38 (eixo)	4,23	4,00		4,1x10E-6		2,5 a 3,0
SP - 14A	48+5 (eixo)	2,43	2,00		4,9x10E-6		1,5 a 2,0



#### 4.5.1.4. Comentários Sobre as investigações do Barramento no Eixo Final

A zona da calha do rio transcorre aproximadamente entre estacas 25 e 37 (240 m de extensão). No segmento entre as estacas 25 e 30 ocorre um depósito aluvionar com espessura entre 2 e 3,4 m porém, uma sondagem a 40 m a jusante da estaca 29+7 indicou 8 m deste solo. Este depósito aluvionar caracteriza-se por um solo constituído de areia fina e média siltosa com pedregulhos, sobreposto a um silte arenoso micáceo. Subjacente a este depósito ocorre um solo residual silto arenoso ou silto areno argiloso com espessura entre 1,60 e 4,0 m;

No segmento da calha do rio compreendido entre as estacas 30 e 37 observa-se que o pacote aluvionar, de areia fina e média siltosa, alcança maiores profundidades, entre 9 e 14 m, e o solo residual subjacente constitui-se de silte arenoso, com espessura variando de poucos centímetros até 3,8 metros;

O nível d'água, na região da calha do rio, foi encontrado, no mês de julho/01, nas profundidades limites de 0,36m (estaca 29+7-jusante) e 3,90 m (estaca 35+10-eixo), representando as cotas 296,0 e 294,8 m, respectivamente;

Os ensaios de penetração SPT indicaram compacidades de fofa a medianamente compacta para o pacote arenoso da fundação, sendo a região fofa restrita, em média, aos dois primeiros metros de profundidade, alcançando nas sondagens das estacas 29+7 (40 m jusante) e 33 o máximo de 3,5 m. Na fundação não foram encontrados, em caracter geral, materiais argilosos/siltosos de consistência preocupante, apenas nas sondagens da estaca 35+10 (no eixo e a 40 m Montante) foi observada uma camada silto argilosa mole com 1,3 m de espessura, no eixo, e uma de argila, com 2 m de espessura e consistência média a rija, a 40 m a montante. Como este material parece ocorrer num bolsão restrito a uma profundidade máxima de 3,9 m da superfície, sugere-se a remoção deste material e sua substituição por material arenoso proveniente das escavações da fundação e/ou da trincheira de vedação;

Com base nos ensaios de infiltração realizados nos furos de sondagem no aluvião da calha do rio, pode-se considerar, de forma genérica, que o depósito aluvionar



possui uma permeabilidade entre  $5 \times 10^{-4}$  e  $2 \times 10^{-5}$  cm/s. Na região de solo residual classificado como silte arenoso micáceo, compacto a muito compacto, obteve-se na sondagem SM-6 A valores de permeabilidade de  $10^{-2}$  e  $2 \times 10^{-3}$  que surpreenderam, haja visto que em 24 ensaios realizados neste material, nos furos das sondagens percussivas, obteve-se uma gama de resultados variando de  $7,7 \times 10^{-4}$  a  $3,6 \times 10^{-6}$ , com média de  $2,4 \times 10^{-4}$ .

As perdas d'água no ensaio Lugeon indicaram, de um modo geral, valores pouco significativos tanto nas ombreiras como na zona aluvionar. Na ombreira esquerda obteve-se o valor máximo de 0,24 l/min/m/atm, na ombreira direita 0,31 l/min/m/atm e na zona aluvionar 0,34 l/min/m/atm. Os ensaios Lugeon realizados no eixo de montante (descartado) também ratificaram a característica de baixa a nula condutibilidade da rocha de fundação, no entanto, a sondagem SM-03 apresentou uma perda específica de 1,9 l/min/m/atm para a pressão inicial e 0,84 para a pressão máxima. O comportamento do fluxo durante a execução dos ensaios, onde houve perda, foi do tipo “de deformação com fechamento” e “sem deformação”.

Portanto, com base nestes ensaios, é de se prever que o substrato rochoso na região da calha do rio e nas ombreiras não deve apresentar valores preocupantes de condutibilidade hidráulica porém, parece recomendável uma linha leve de impermeabilização do substrato rochoso, nos primeiros 6 metros nas ombreiras e nos primeiros 6 a 9 m na calha do rio, onde a frequência de fraturas chega a mais de 20/m.

Analisando o perfil geotécnico percebe-se que ao longo da ombreira esquerda e da ombreira direita o manto de solo apresenta boas características de suporte, revelados nos valores dos ensaios de SPT, desde a superfície. Sendo assim, é suficiente apenas a remoção do material superficial com matéria orgânica para a fundação da barragem nestes trechos.

Na barragem auxiliar (lado direito do eixo) foram realizadas duas sondagens percussivas, uma em cada ombreira, e uma mista no ponto mais baixo, que mostraram solos resistentes e com boa impermeabilidade nas ombreiras. No



talvegue verificou-se a existência de 1 m de solo transportado sobrejacente a 1,35 m de solo residual bastante impermeável. A rocha de fundação mostrou-se constituída de uma Biotita- Xisto que a partir de 1,35 m de profundidade mostrou-se moderadamente dura a dura, pouco fraturada e com baixa a nula condutibilidade hidráulica, máximo de 0,13 l/min/m/atm no ensaio Lugeon.

#### 4.5.2. Investigação do Sangradouro

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

As investigações geotécnicas foram iniciadas no eixo de Montante e, como conseqüência dos resultados obtidos, paralisadas e reiniciadas em outro eixo, situado a jusante do primeiro e dito eixo Final.

Do programa de sondagens previsto para o eixo de Montante foram executadas 5 (cinco) sondagens mistas, sendo 4 na sela topográfica onde se previa o sangradouro e uma ultima, situada à direita deste local, para uma nova tentativa de localização do sangradouro ainda neste eixo.

Diante das condições geotécnicas encontradas no eixo anterior deslocou-se o eixo da barragem para jusante onde, seleccionou-se uma sela topográfica na ombreira esquerda para possível sangradouro. Nesse local foram realizadas 16 sondagens sendo 13 mistas e 3 percussivas, de forma a localizar com maior precisão o local de sangria.

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

Nas tabelas 4.21 e 4.22 são apresentadas as sondagens mistas realizadas na região do sangradouro do eixo de montante (descartado) e na região do sangradouro no eixo final (adotado), respectivamente.

**Tabela 4.21: Investigação Geotécnica da Barragem Umari  
Sangradouro - Eixo Montante (descartado)**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de Intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus.	Total.		
SM-9	34	405.384	9.616.318	312.393	13,03	8,33	Gnaisse, macia a dura, foliada, intercalada c/m solo residual	Moderadam Intemper.
SM-10	53	405.443	9.616.327	320.474	8,12	13,19	Biotita xisto, macia a moder dura gran. Fina, xistosa	Levemente. Intemper.
SM-12	37	405.436	9.616.376	311.549	11,44	2,21	Biotita xisto, macia a muito dura, gran. Fino, foliada	Sã
SM-13	37 (20 m Montante)	405.502	9.616.335	310.950	10,00	7,16	Gnaisse muito macia a muito dura, gran. Fina, foliada	Moderadam Intemper.
SM-15	40	405.245	9.616.297	317.529	3,45	12,00	Gnaisse muito dura, gran fina, foliada	Moderadam Intemper.

**Tabela 4.22: Investigação Geotécnica da Barragem Umari  
Sangradouro - Eixo Final**

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de Intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus.	Total.		
SM-1 A	0-7,40	439.376	9.468.346	312,592	6,12	6,53	Gnaisse, moder, dura a muito dura, gran, fina foliada	Sã
SM-2 A	3+6,0	439.310	9.468.340	316,425	1,19	8,11	Biotita xisto moder. Dura gran. fina, xistosa	Moderadam. Intemper.
SM-3 A	10	439.276	9.468.337	318,266	2,17	7,92	Biotita xisto moder, dura e veio de pegmatito dura	Levemente Intemper.
SM-10 A	3+10 (47,3 m Montante)	439.302	9.468.387	317,488	0,50	6,64	Gnaisse dura a muito dura gran. Fina, foliada	Sã
SM-11 A	4+1,60 (80,5m Jusante)	439.302	9.468.258	309,116	3,60	9,25	Biotita xisto macia a muito. Dura gran fina, xistosa	Levemente Intemper.
SM-12 A	4+16,2 (150m Jusante)	439.293	9.468.188	305,596	1,05	11,25	Biotita xisto macia a dura e gnaisse muito dura foliada	Biotita leve a alta intemp. e gnaisse sã
SM-16 A	7+10 (eixo)	439.227	9.468.333	316,00	0,74	7,26	Micaxisto, muito macia a macia foliada	Altamente intemperizada
SM-17 A	5+10 (12mM)	439.265	9.468.348	316,00	0,85	7,15	Micaxisto muito macia e moderadamente deixa, foliada	Altamente Intemperizada



Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de Intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus.	Total.		
SM-18 A	6 (50mM)	439.252	9.468.385	313,50	0,50	5,50	Micaxisto, muito macia a macia, granfina, foliada	Altamente Intemperizada
SM-19 A	5 (23mJ)	439.274	9.468.360	316,00	1,80	4,20	Micaxisto, muito macia a macia gran fina, foliada	Altamente Intemperizada
SM-20 A	3+10 (20mM)	439.305	9.468.360	317,80	1,80	8,33	Gnaisse dura a muito dura, maciça	Levemente Intemperizada
SM-21 A	1+10 (35mM)	439.343	9.468.378	319,95	0,50	11,52	Gnaisse dura a muito dura grau fina, foliado	Levemente intemperizada
SM-10 A	1+10 (eixo)	439.346	9.468.343	319,07	0,50	8,50	Gnaisse dura a muito dura, gran fina maciço	Leve a moderadamente intemperizada

#### 4.5.2.1. Comentários

##### a) Eixo Montante ( Descartado)

Da campanha de sondagens realizadas no eixo de montante (descartado) pode-se observar que:

No local originalmente idealizado para localizar o sangradouro, entre estacas 34 e 40, apenas na estaca 40 o manto de solo tem uma menor espessura, cerca de 3,5 m, no restante da área a espessura deste material variou de 10 a 13 metros. Com isto o topo rochoso, com exceção da estaca 40, ficou entre as cotas 299,4 e 301,0 m, o que está muito abaixo da cota 310,0 m definida como ideal para a sangria. Interessante salientar que na região de grande cobertura de solo os primeiros 2 a 3m do substrato rochoso mostrou-se altamente intemperizado e com uma frequência de fraturas superior a 20 unidades por metro.

A tentativa de deslocar o local do sangradouro para uma região mais a direita, neste mesmo eixo, foi materializada através da SM-10, que apresentou uma cobertura de solo de 8,1 m e um substrato rochoso composto de uma Biotita-xisto macia, altamente intemperizada até próxima da cota 308,8 m e a partir desta cota uma moderada dureza e um grau de intemperismo mediano.



## b) Eixo Jusante (final)

Da campanha de sondagens realizada no local previsto para o sangradouro no eixo situado a jusante (eixo Final), pode-se tecer os seguintes comentários:

Com exceção da sondagem SM-1 A, que indicou uma espessura de solo de 6,12 m, as demais sondagens apresentaram um manto de solo residual de espessura variando entre 0,50 m e 3,60 m.

Na extremidade esquerda do sangradouro as sondagens SM1-A, SM-2A; SM-10A SM-20 A, SM-21A e SM-22A, realizadas entre estacas zero e 3+10, mostraram a ocorrência de uma rocha com grau de intemperismo entre levemente a moderadamente intemperizada, constituída de um gnaisse dura a muito dura, de granulação fina, foliada a maciça. Esta rocha mostra evidências de grande resistência à erosão para os fluxos previstos no elemento de sangria.

Na região central da sela topográfica, aproximadamente entre estacas 4 e 7+10, as sondagens, SM-11A, SM-12A, SM-16A, SM-17A, SM-18A e SM-19A, apresentam substrato rochoso composto predominantemente de uma rocha Biotita-xisto ou Micaxisto muito macia a moderadamente dura, altamente interiorizada, com RQD zero e recuperação variando de 20 a 80%. Pela sua característica macia avaliou-se que este substrato não é competente para resistir ao candal de sangria sem uma proteção adicional de um revestimento de concreto.

Na extremidade direita da sela topográfica objeto dos estudos do sangradouro, situada aproximadamente entre estacas 8 e 10, a sondagem SM-3 A relevou uma fundação rochosa constituída de uma Biotita-Xisto, moderadamente a muito dura, xistosa, com grau de intemperismo leve, intercalada por veios de pegmatito dura, abaixo da cota 312.

Avaliou-se portanto que sob o aspecto de competência do substrato rochoso o sangradouro deverá ser localizado na região esquerda da sela topográfica existente entre estacas 0 e 3+10, e que poderá ser do tipo canal escavado em rocha. O material selecionado da escavação do sangradouro poderá ser usado para enrocamentos, transições e agregados nas obras da barragens e os materiais



mais intemperizados na confecção do dique de proteção da terras a jusante do canal de restituição do sangradouro.

#### 4.5.3. Estudo dos Materiais Construtivos

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da barragem foram iniciados por um simples reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento, de modo que fossem selecionadas as ocorrências potencialmente aproveitáveis, levando-se em conta a qualidade do material e os volumes disponíveis.

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas 2 jazidas de solos, um areal, uma pedreira e duas outras áreas alternativas de afloramentos, cuja situação em relação ao eixo pode ser vista no desenho nº III-2-08/31-000.

A jazida J-1 situada na ombreira direita, a montante e jusante do eixo, distante cerca de 0,9 km do eixo, consta de uma área de solo silto areno argiloso, com presença de pedregulhos, cuja profundidade investigada variou de 0,40 a 0,90 m. O material constitui-se predominantemente de solos SC que poderão ser utilizados em qualquer zona do maciço da barragem.

A jazida J-2 situa-se a jusante do eixo, na ombreira esquerda, e é constituída de solos silto areno argilosos, com pouco pedregulho, com uma espessura variável de 0,50 a 1,10. O material constitui-se, também, de solos SC que poderão ser empregados na execução de um maciço homogêneo. A área dista cerca de 0,6 km para o eixo e está fora da bacia hidráulica da barragem.

As jazidas citadas foram estudadas através de sondagem a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de 50m de lado, cobrindo a área a ser explorada.

O areal foi identificado no leito do rio Barrigas e estudado para a execução do filtro vertical, dreno horizontal e concretos.



A rocha pouco alterada originária da escavação obrigatória do sangradouro deverá ser utilizada como material pétreo nas diversas etapas da construção da barragem. No entanto, para possível complementação dos volumes, sondou-se um afloramento na ombreira direita, dito Pedreira P-01, e identificou-se mais duas áreas no lado esquerdo.

A área definida como pedreira P-01 situa-se à direita do eixo, em terras fora da área do futuro reservatório, distando cerca de 0,75 km para a ombreira direita. As outras duas áreas de material rochoso foram: uma antiga pedreira utilizada para a construção da BR-020 e que situa-se em terras lindeiras à rodovia, e a outra no lado esquerdo do futuro reservatório, próxima da localidade de Salgadinho.

#### 4.5.3.1 Comentários

Os exames dos ensaios de caracterização realizados (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01 e J-02, permitiram enquadrar os materiais estudados no grupo SC (Areias argilosas) da “Classificação Unificada USC”.

O enquadramento dos solos na “Classificação Unificada USC” possibilita estimar suas características no que concerne a sua utilização na construção de barragens de terra. Segundo Sherard<sup>3</sup>, os solos dos tipos SC apresentam as seguintes características:

#### **Solo SC**

Alta resistência à erosão;

Alta a média resistência ao cisalhamento;

Impermeável;

---

<sup>3</sup> Sherard, J. L. et ali – Earth Rock Dams, John Wiley and Sons, Inc., 1963



Boa a regular trabalhabilidade.

As propriedades acima citadas são esperáveis para obras em que seja feito o controle de umidade e densidade durante a construção.

Os solos das jazidas J-01 e J-02 possuem características muito parecidas e poderão ser utilizados em qualquer região da seção, formando um maciço do tipo “homogêneo”.

Os solos das escavações obrigatórias da área do sangradouro deverão ser aproveitados no maciço da barragem, preferencialmente no espaldar de jusante.

O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção prioritária a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta formações rochosas apropriadas para tais fins. Como complementação desta fonte indicou-se a pedreira P-01, constituída de gnaiss são, muito duro e com médio a baixo fraturamento. O maciço gnaissico da pedreira está intercalado com camadas máficas e félsicas sendo algumas com espessura superior a 1 m, onde o grau de alteração é elevado e o fraturamento intenso. O emprego do material componente destas passagens alteradas deve ser evitado.

Os bancos de areia do riacho Umari, com permeabilidade média de  $7 \times 10^{-3}$ , são apropriados como fonte de suprimento de agregado miúdo para os concretos e para elemento drenante/ filtrante do sistema de drenagem interna do maciço.



MONTGOMERY WATSON



## **5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM**

---



## 5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM

### 5.1. GENERALIDADES

Nesse capítulo é apresentado o memorial descritivo do projeto da Barragem Umari no município de Madalena que será construída barrando o rio Barrigas no ponto de coordenadas N=9.468,435 e E=438.305. Inicialmente foi locado um eixo que após o início das investigações geotécnicas viria a ser descartado por falta de alternativa de sangradouro e pela grande profundidade do aluvião. Deslocou-se, portanto, o eixo para cerca de 400m à jusante, sendo denominado de “A” para distinguir do anterior.

O desenvolvimento deste item é feito abordando os seguintes tópicos:

Relação de Desenhos;

Escolha do Eixo Barrado;

Escolha do Tipo de Barragem;

Fundação da Barragem;

Maciço da Barragem;

Análise de Estabilidade;

Estudos de Percolação pela Barragem e Fundação;

Análise de Recalques;

Instrumentação;

Sangradouro;

Tomada D'Água.



## 5.2. RELAÇÃO DE DESENHOS

Os desenhos são apresentados no Tomo-2, porém para facilitar a descrição deste capítulo eles estão aqui relacionados.

<b>BARRAGEM UMARI</b>	
<b>DESCRIÇÃO</b>	<b>NÚMERO</b>
CARTA PLANIALTIMÉTRICA	III-2-01/31-000
PLANTA DE LOCAÇÃO DOS EIXOS DAS OBRAS	III-2-02/31-000
ARRANJO GERAL DAS OBRAS	III-2-03/31-000
PERFIL LONGITUDINAL DA BARRAGEM E SANGRADOURO	III-2-04/31-000
PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS	III-2-05/31-000
BARRAGEM – PERFIL LONGITUDINAL DO SUBSOLO	III-2-06/31-000
SANGRADOURO – PERFIL LONGITUDINAL DO SUBSOLO	III-2-07/31-000
LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS E BOTA-FORA	III-2-08/31-000
SEÇÃO MÁXIMA – DETALHES	III-2-09/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (13 A 21)	III-2-10/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (22 A 24)	III-2-11/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (25 E 26)	III-2-12/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (27 E 28)	III-2-13/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (29 E 30)	III-2-14/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (31 E 32)	III-2-15/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (33 E 34)	III-2-16/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (35 E 36)	III-2-17/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (37 E 38)	III-2-18/31-000
BARRAGEM PRINCIPAL – SEÇÕES TRANSVERSAIS (39 A 42)	III-2-19/31-000
BARRAGEM AUXILIAR – SEÇÕES TRANSVERSAIS (47 A 50)	III-2-20/31-000
BARRAGEM AUXILIAR – SEÇÕES TRANSVERSAIS (51 A 56)	III-2-21/31-000
SANGRADOURO – PLANTA PERFIL E SEÇÕES	III-2-22/31-000
TOMADA D'ÁGUA – ESCAVAÇÃO PLANTA, PERFIL E SEÇÕES	III-2-23/31-000
TAPETE DE VEDAÇÃO – DETALHES	III-2-24/31-000
PIANTA DA TOMADA D'ÁGUA – CORTES E DETALHES	III-2-25/31-000
TOMADA D'ÁGUA – PROTEÇÃO DA CAIXA DE JUSANTE – DETALHES	III-2-26/31-000
TOMADA D'ÁGUA – CAIXA DE JUSANTE E MONTANTE	III-2-27/31-000
TOMADA D'ÁGUA – ARMADURA, CAIXA DE MONTANTE E GALERIA	III-2-28/31-000



BARRAGEM UMARI	
DESCRIÇÃO	NÚMERO
TOMADA D'ÁGUA – ARMADURA, CAIXA DE JUSANTE	III-2-29/31-000
DRENAGEM - DETALHES	III-2-30/31-000
INSTRUMENTAÇÃO	III-2-31/31-000

### 5.3. ESCOLHA DO EIXO BARRADO

A escolha do eixo barrável foi feita na fase de Estudos de Alternativas de Localizações das Barragens apresentado em relatório em maio de 2001.

No caso específico da barragem Umari, para abastecimento da Cidade de Madalena, elegeu-se algumas alternativas de eixo para o barramento do rio Barrigas e seus tributários Treme, Sabonete e Umari, todas à montante da sede municipal, que são sumarizados no quadro 5.1 a seguir:

**Quadro 5.1: Relação das Alternativas de Eixo**

Rio Barrado	Eixo	Distância à Sede (km)	Coordenadas UTM		Cota do leito	Bacia Hidrográfica (km <sup>2</sup> )
Barrigas	Manga	6,0	9.468.603	438.886	295,8	975
Sabonete	Umari	13,5	9.473.540	442.503	308,5	295,5
Umari	Umari 2	12,5	9.472.401	442.623	308,0	443,21
Treme	Treme I	7,5	9.469.887	438.293	299,4	403,42
Treme	Treme II	8,5	9.470.608	437.046	301,1	386,4
Treme	Treme III	10,0	9.471.654	437.046	303,2	357,0

O local do eixo Umari 2 tem um relevo topográfico em forma de V muito atrativo para comportar um maciço pouco volumoso além, de uma bacia com capacidade para gerar um lago de grandes dimensões. No entanto, situa-se muito próximo da rodovia BR-020, que cruza o seu afluente pela margem esquerda (riacho Tigre) através de uma ponte de 60 m de vão e 3,5 m de altura, que seria inundada assim como uma extensão de cerca de 1,0 km da rodovia federal. Além disto, implicaria no reassentamento da população da vila Tigre, estimada em cerca de 400 pessoas. Devido a esses inconvenientes descartou-se esse eixo como



alternativa viável embora, tenham sido executados os estudos preliminares de campo e elaborada uma estimativa de custo para uma barragem em concreto.

O eixo Umari, localizado no riacho Sabonete, a montante da confluência do riacho Tigre, não causa nenhuma interferência com a BR-020 porém, tem como fator limitante a presença da rodovia estadual CE-336, que dá acesso a Lagoa do Mato e Itatira, e que cruza a bacia a cerca de 3,0 km do eixo. Para evitar a redução da seção de vazão da ponte situada nessa rodovia, sobre o riacho Sabonete, o lago do reservatório fica restrito a um volume de 11,45 Hm<sup>3</sup>. Tal restrição, associada a um maior comprimento para a adutora, torna essa alternativa pouco atrativa quando comparada com as demais. Assim, descartou-se essa opção para localização do eixo da barragem.

Para confronto e decisão entre as alternativas situadas no rio Barrigas (Manga) e no riacho Treme (Treme I, Treme II e Treme III), foi preciso contar com as informações obtidas da restituição aerofotogramétrica complementada com estudos preliminares da geologia e geotécnia.

Das três alternativas selecionadas no riacho Treme, foi feito um confronto entre as alternativas II e III com a alternativa I, e chegou-se a conclusão que a alternativa I é a melhor das três. Portanto o estudo de escolha do eixo barrável da barragem Umari foi feito comparando o eixo Manga do rio Barrigas e o eixo Treme I do riacho Treme.

Para embasar a escolha da melhor alternativa de eixo foi contratada uma restituição aerofotogramétrica das bacias dos rios Barrigas e Treme, com base nas fotos existentes da área, foi obtido plantas na escala de 1:20.000 com curvas de nível a cada 5,0 m. De posse dessa restituição foi possível construir as curvas cota x área x volume para avaliação das capacidades de reservação de cada alternativa.

Além dos estudos cartográficos, foram, também, realizados nos eixos Manga e Treme I levantamento topográfico convencional.



Foram realizados, também, em cada eixo estudos geotécnicos visando a identificação das condições geotécnicas no local das obras e a existência de solos, areias e rochas a distâncias viáveis.

Foram, ainda, concebidos duas barragens em seção homogênea para cada um dos boqueirões.

Usando os preços unitários adotados na tabela de preços da SRH e do DNOCS chegou-se aos seguintes valores para os serviços que se diferenciavam

<b>BARRAGEM UMARI</b>	
EIXO MANGA	R\$ 2.391.549,53
EIXO TREME I	R\$ 3.367.806,09

A partir daí foi preparado os itens da Matriz de Decisão que contempla os seguintes itens:

Custo de Implantação;

Volume do Reservatório;

Relação Volume do Reservatório (vr)/volume afluente (va);

Área Inundada;

Impacto Ambiental (bio-físico);

Impacto Ambiental (sócio-econômico);

Reassentamento Populacional;

Remanejamento de Infra-estrutura;

Demanda Social;

Custo de Implantação e Operação da Adutora;



Com a preparação da Matriz de Decisão conclui-se que o eixo mais viável para abastecer Madalena é a partir da construção do reservatório situado no eixo Manga.

#### **5.4. ESCOLHA DO TIPO DE BARRAGEM**

No decorrer dos estudos de campo a concepção do tipo de barramento adequado para fechar o rio Barrigas foi se consolidando. A grande profundidade do aluvião na calha do rio descartou a solução de barragem de enrocamento que teria um custo muito elevado. A extensão do vale e a profundidade do aluvião descartou a opção em concreto compactado a rolo, CCR. A existência de solo nas proximidades do eixo barrável conduziu inicialmente à escolha de uma barragem do tipo seção homogênea de solo com cutoff convencional interceptando todo o sedimento da calha do rio. Entretanto em reunião com o Painel de Consultores essa seção foi questionada devido a grande profundidade do cutoff e a dificuldade de execução de escavação abaixo do nível d'água. Depois de várias discussões ficou estabelecido que a barragem não teria cutoff e o controle da percolação seria feito pela execução de um tapete para montante executado com solos das jazidas J-01 e J-02. A seção homogênea também será executado com solos das jazidas J-01 e J-02.

#### **5.5. FUNDAÇÃO DA BARRAGEM**

Para a identificação das características geotécnicas da fundação da barragem principal e auxiliar foram programadas e executadas 6 sondagens mista e 17 sondagens a percussão.

Na barragem auxiliar foram executadas as sondagens SP-14A, SP-15A, E SM-9A.

Examinando os perfis individuais dessas sondagens, verifica-se que as sondagens a percussão atingiu na SP-14A profundidade de 2,43 m e na SP-15A profundidade de 1,22 m com SPT'S da ordem 28/5 golpes e o material encontrado é um Silte Arenoso Micáceo caracterizando o solo residual. No furo SP-14A, foram realizados dois ensaios de infiltração obtendo-se permeabilidade de  $4,0 \times 10^{-6}$  cm/s e  $3,0 \times 10^{-9}$  cm/s. A sondagem mista SM-9A teve o trecho a



percussão com 2,35 m de profundidade e o material encontrado é o mesmo das sondagens a percussão, ou seja, Silte Arenoso Micáceo. Foram executados, também, dois ensaios de infiltração obtendo-se  $2,3 \times 10^{-5}$  cm/s e  $3,5 \times 10^{-7}$  cm/s, o trecho rotativo foi de 2,35 m a 11,00 m e encontrou rocha Biotita Xisto; foram realizados 3 ensaios de perda d'água em rocha tipo "Lugeon" que apresentaram perdas específica praticamente nula.

Finalmente com relação à fundação da barragem auxiliar deve-se assentar os espaldares sobre o terreno natural e a trincheira de fundação dever ir até o topo rochoso. A trincheira de fundação deve situar-se entre as estacas 47 e 54.

A barragem principal localiza-se entre as estacas 12A+18,70 e 42A+17,50, com 598,80 m de extensão. O eixo foi investigado por 13 sondagens sendo 6 mistas (SM-4A, SM-5A, SM-6A, SM-7A e SM-8A) e 7 sondagens a percussão (SP-1A, SP-2A, SP-3A, SP-6A, SP-10A, SP-13A, SP-22A e SP-23A).

Analisando os perfis dessas sondagens verifica-se que entre as estacas 5A e 21A a camada de solo residual está variando em profundidade de 0,50m na sondagem SP-22A (estaca 15A), para 4,96 na sondagem SP-1A (estaca 18A) e para 6,33m na SM-4A (estaca 19A).

Entre as estacas 13 e 21, os espaldares será fundado sobre o solo natural feito uma limpeza de cerca de 0,20 m. Nesse trecho está previsto nas seções de 15 a 21 a execução de um cutoff com profundidade máxima de 6,50 m e base máxima de 8,0 metros. Os taludes de escavação da trincheira é de 1:1 (V:H). As seções 13 e 14 não terão cutoff.

A partir da estaca 21A até a 38A a barragem tem um tapete impermeabilizante executado com material das jazidas J-01 e J-02. O tapete se estende por uma extensão de cerca de 190,00 m contados do filtro vertical. O tapete terá 2,50 m de espessura e a cota superior será a 300,00 m. O terreno inferior será regularizado na cota 297,50 m.



Entre as estacas 26A e 37A local da calha do rio está previsto a escavação de 2,0 m do aluvião antes de iniciar a barragem. Essas escavações se entendem 5,0m além dos offset da barragem.

Entre as estacas 39A e 43 A, ombreira direita, foram realizadas duas sondagens que revelaram uma camada de solo residual variando de 3,0m na SM-8A (estaca 40) até 0,65m na SP-23A (estaca 41+10).

Portanto, entre as estacas 39A e 42A, a parte final da barragem principal, os espaldares serão assente no terreno natural virgem feita uma retirada de uma camada de 20 cm, e um cut-off com profundidade máxima de 3,0m.

As seções transversais das barragens principal e auxiliar podem ser vistas nos desenhos III-2-10/31-000 a III-2-21/31-000.

## **5.6. MACIÇO DA BARRAGEM**

### 5.6.1. Descrição da Seção Tipo

Este item tem a finalidade de descrever com detalhes a seção tipo adotada para a Barragem Umari que apresenta as seguintes características:

#### Cota e Largura da Crista

A cota da crista foi definida tendo como fator limitante a ponte existente na BR-020, e foi determinada a cota da soleira tal que a cheia de 1.000 anos não atingisse o fundo da viga que está na cota 313,84 m. Por outro lado, trabalhou-se com a idéia de minimizar a escavação em rocha do sangradouro. A cota do sangradouro foi, portanto, definida em 310,00 m, acumulando um volume de 35,04 hm<sup>3</sup>, o máximo possível sem afetar a ponte. Como pode ser visto no desenho III-2-04/31-000 do Tomo-2 perfil longitudinal da Barragem e do Sangradouro. A partir da definição da cota da soleira e das informações hidrológicas sobre as lâminas milenar e decamilenar foi determinada a altura da onda, em função do fecht de 7,40 km, como sendo 1,25 m. A partir daí calculou-se a folga  $f = 1,75$  m. Considerando a lâmina da cheia milenar obteve-se a



revanche  $R = 5,36$  m e daí resultou na cota do coroamento que foi fixada em 315,50 m.

A largura do coroamento foi determinada pela fórmula de Preece e verificou-se que o valor encontrado é ligeiramente inferior a 6,00m. Portanto, foi adotado um coroamento com 6,00 metros de largura. A seção transversal apresenta um caimento de 2% para montante. A camada final com 0,30cm de espessura será executada com material pétreo de “fundo de pedreira” ou cascalho areno argiloso compactado. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios moldados “in situ” com abertura para montante espaçadas de 20,00m em 20,00m.

Nos desenhos III-2-09/31-000 ao III-2-21/31-000 podem ser vistos os detalhes em forma de seção e, perfis da geometria geral descritas acima.

#### Materiais Construtivos do Maciço

Para a execução da barragem foram pesquisadas duas jazidas de solos J-01 e J-02, que formarão todas as zonas da barragem.

O maciço terroso será homogêneo com solos das jazidas J-01 e J-02. Portanto no projeto, como pode ser visto no desenho III-2-09/31-000- seção máxima.

Além dos materiais terrosos, foram estudados materiais arenosos e pétreo para uso no sistema de drenagem interna e nas zonas de proteção dos paramentos de montante e jusante respectivamente.

#### Talude de Montante

O talude de montante foi indicado com inclinação de 1:2,5 (V:H) em toda a sua extensão e sua inclinação foi confirmada através das análises de estabilidade. Foi previsto fazer a proteção do talude de montante com materiais pétreos da seguinte forma: Abaixo da cota 302,00 m será executado uma camada de Brita “A” com 0,30 m de espessura. Entre as cotas 302,00 m e 308,00 m será executada uma camada de Brita “A” com 0,50 m de espessura. Acima da cota 308,00 será executado um rip-rap com 1,20 m de espessura, sendo que os 0,90m superficiais serão executados com pedras com a granulometria do material a ser



empregado no enrocamento de pé. Os 0,30m restantes é que ficarão em contato com o paramento da barragem, serão executados com Brita “A”.

A seguir são apresentadas as granulometrias do material do enrocamento de pé e da Brita “A”.

**Tabela 5.2: Brita “A”**

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>% Passando</b>
25,4 (1”)	100
19,10 (3/4”)	95-100
12,27 (1/2”)	58-96
9,52 (3/8”)	18-93
4,76(Nº4)	9-85
2,0 (Nº10)	3-10
1,19 (Nº16)	-

**Tabela 5.3: Enrocamento do Rip-Rap**

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>% Passando</b>
1000	100
500	91-100
200	68-94
100	34-82
50,80 (2”)	5-62
38,10 (1 ½”)	0-50
25,4 (1”)	0

### Talude de Jusante

O talude de jusante foi previamente escolhido com inclinação de 1:2 (V:H) até a cota 302,00m quando foi previsto o topo do “rock fill”, que tem 4,00m de coroamento, sendo 2,00m em solo e 2,00m em enrocamento, talude de jusante de 1:1,5 (V:H) e talude de montante 1:1 (V:H).



A estabilidade do talude de jusante foi confirmada nas análises de estabilidade.

Para fazer a proteção do talude de jusante foi prevista a colocação de uma camada de 0,30m de espessura de material oriundo de britagem de blocos de rocha, com a granulometria apresentada na tabela 5.4 a seguir:

**Tabela 5.4: Material de Proteção do Talude de Jusante**

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>% Passando</b>
101,6 mm (4")	100
50,8mm (2")	64-90
25,4mm (1")	48-78
9,5mm (3/8")	28-74
4,8mm(Nº 4)	12-50
2,0mm (Nº 10)	0-36
0,42mm (Nº 40)	-

Não será utilizado o sistema de calhas de drenagem no talude de jusante. Será prevista a execução de calhas nas ombreiras, no encontro do talude com o terreno natural na barragem.

#### Tapete Impermeabilizante

Para aumentar o percurso do fluxo de percolação pela fundação arenosa da região da calha do rio, na barragem principal, indicou-se a execução de um tapete de vedação unido ao corpo da barragem e estendendo-se para montante.

Anteriormente a execução deste tapete indicou-se uma regularização de toda área de montante, até 130m após o off-set original do maciço da barragem, na cota 297,50, com balanceamento entre cortes e aterros. Após esta operação o tapete de vedação deverá ser construído concomitantemente com o maciço da barragem, apenas diferenciado pela espessura da camada que será de 0,50m. O tapete terá cota constante de 300,00 em toda a sua extensão e deverá ser executado com os materiais das jazidas J-01 e J-02. As características do tapete impermeabilizante



são apresentadas no desenho III-2-09/31-000 e o detalhe da união deste com as ombreiras apresentado no desenho III-2-24/31-000.

### Filtro Vertical

Está prevista a execução de um filtro vertical, com topo na cota 313,61m como parte do sistema de drenagem interna, com 1,00m de espessura, executado em areia grossa do areal A-01, cuja granulometria média é mostrada na tabela 5.5 a seguir:

**Tabela 5.5: Ensaio de Laboratório do Areal**

<b>Peneiras (mm)</b>	<b>% Passando</b>
1" (25,4)	100
3/8" (9,5)	100
Nº 4 (4,8)	98
Nº 8 (2,4)	90
Nº 16 (1,20)	63
Nº 30 (0,60)	20
Nº 50 (0,30)	1
Nº 100 (0,15)	-

Deve-se ressaltar que está previsto o uso total de areia vindo do areal A-01 no leito do riacho Barrigas com permeabilidade média de  $7 \times 10^{-3}$  cm/s. O diâmetro máximo da areia foi de 4,8mm.

O enquadramento dessa areia na classificação unificada USC mostra que ela é do tipo SP, ou seja, areia mal graduada.

O topo do filtro vertical ficará na cota 313,61 correspondente a cheia milenar, o filtro vertical será executado entre as estacas 13+10,00 e 42+8,00, na barragem principal e entre as estacas 47+0,00 e 54+0,00 na barragem auxiliar.



### Tapete Drenante (Tipo Sanduíche)

Para receber as águas do filtro vertical e da fundação está previsto a execução, na barragem principal e auxiliar, de um tapete drenante tipo sanduíche, com 0,90 m de espessura, sendo 0,30 m de brita “A” entre duas camadas de 0,30 m cada de areia grossa do Areal A-01.

O tapete drenante será executado na barragem principal entre as estacas 13+10,00 e 42+8,00 e na barragem auxiliar entre as estacas 47+0,00 e 54+0,00. Tanto na barragem principal como na barragem auxiliar o tapete drenante só atinge o pé da barragem em parte dele onde o tapete não vai até o pé da barragem e drenará as águas no sentido do gradiente da ombreira, ou seja, no sentido paralelo ao eixo. Entre as estacas 20+10,00 e 39+10,00 da barragem principal e 48+10,00 e 51+10,00 da barragem auxiliar o tapete drenante será pleno e se estenderá até o pé da barragem. As águas que chegarem nessa região vindas das ombreiras e da porção central do maciço serão encaminhadas para fora da seção pelo pé da jusante para os pontos mais baixos onde será construído um pequeno medidor de vazão para avaliar as perdas pela fundação e maciço. Esses detalhes podem ser vistos no desenho III-2-10/31-000 a III-2-19/31-000, para a barragem principal e nos desenhos III-2-20/31-000 a III-2-21/31-000 para a barragem auxiliar.

### Dreno de Pé

Finalmente, concluindo os dispositivos de drenagem interna, foi previsto a execução de um dreno de pé do talude de jusante nas barragens principal e auxiliar que consiste na execução de um enrocamento com blocos de pedra obtidos de rocha sã vindo da escavação do sangradouro ou da pedreira P-01, com granulometria mostrada na tabela 5.6., abaixo:

**Tabela 5.6: Material do Enrocamento**

<b>Peneira (mm)</b>	<b>% Passando</b>
1000	100
500	91-100
200	68-94
100	34-82
50,8 (2")	5-62
38,10 (1 1/2)	0-50
25,4 (1")	-

O enrocamento terá seção trapezoidal com taludes de montante de 1:1 (V:H) e jusante de 1:1,5 (V:H), a cota do coroamento na barragem principal é 302,00 m e na barragem auxiliar é 306,00 m. A largura da crista deste, em ambos os casos, é de 4,00 m, sendo 2,00 m em solo e 2,00 m em enrocamento. O enrocamento será executado na barragem principal entre as estacas 20+10,00 e 39+10,00 e na barragem auxiliar entre as estacas 48+10,00 e 51+10,00.

O enrocamento de pé aprofundará, a partir da remoção do material fofo superficial, cerca de 2,50m.

No contato do enrocamento com a barragem e do enrocamento com a fundação foi previsto a execução de uma camada de transição formada de areia e brita. A areia virá do rio Barrigas e terá 0,50 m de espessura com granulometria mostrada na tabela 5.5. A brita será obtida da britagem de rocha sã vinda das escavações obrigatória do sangradouro, preferencialmente, ou da exploração da pedreira P-01. A granulometria da brita "A" é mostrada na tabela 5.2.

Os detalhes desse projeto podem ser visto no desenho III-2-09/31-000.

### Poços de Alívio



Para disciplinar o fluxo que ocorrerá pela fundação da barragem principal, na zona da calha do rio, indicou-se a execução de uma linha de poços de alívio, situada sob o enrocamento do dreno de pé do maciço. Esses poços serão espaçados a cada 15,00m, entre estacas 25 e 37, tendo uma profundidade de 6,00m, cada. Cada poço será escavado com diâmetro de 250mm terá na sua zona central um tubo de PVC rígido de 100mm, com CAP, em ambas as extremidades, perfurado, envolvido em Geotextil e preenchido o espaço entre o tubo e a perfuração com areia grossa. No desenho III-2-09/31-000 e apresentado um detalhe típico do poço de alívio projetado.

## 5.7. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

### 5.7.1. Considerações Gerais

A geometria da barragem Umari foi analisada quanto a estabilidade de duas maneiras, recorrendo-se a análise estática e verificando o comportamento diante de abalos sísmicos que ocasionalmente tem ocorridos em diversas regiões do Ceará. Os sísmicos no Ceará são mais freqüentes na região Centro Sul, como nos municípios de Pacajus e Morada Nova.

Pesquisas recentes (Assumpção, 1992 e 1998; Ferreira et.al., 1995 e 1997; Lima et al., 1997) indicam que os esforços crustais no Nordeste são bastante uniformes, com compressão paralela e tração perpendicular à costa norte, favorecendo uma única província sismotectônica principal no Nordeste. A tendência geral das estruturas do embasamento tem direção SW – NE.

A região da Bacia Potiguar e faixa margeante, prolongando-se pelas bacias Costeira do Ceará e Rio Grande do Norte, encontram-se entre as principais zonas sismogênicas do Nordeste (Ferreira, 1986). Nestes dois estados tem ocorrido, nos últimos trinta anos, exames sísmicos tais como: Pereiro (CE/1968), Parazinho (RN/1973), Pacajus (CE/1980), João Câmara (RN/1986), Palhano (CE/1988) e Cascavel (CE/1994).



As poucas informações disponíveis conduzem a uma abordagem determinística para a análise do risco sísmico baseada na consideração dos sismos ocorridos, nas proximidades do local da obra, como fontes sísmicas pontuais.

Na década de 70, a U.S. Atomic Energy Commission (USAEC), propôs critérios para análises sísmicas e para a determinação do terremoto de projeto, que são utilizados até hoje (Clough e Penzien, 1993 e Almeida e Eusébio, 1992) para a caracterização do movimento do solo devido à terremotos. Para a região leste dos Estados Unidos é recomendada a adoção do maior terremoto já ocorrido na Província Sismotectônica, com a menor distância epicentral já verificada. Um limite de 0,10g é proposto para a aceleração no local da obra. Entretanto, segundo procedimentos mais modernos, níveis de aceleração máximos menos conservadores tem sido adotados.

Nas simulações de análise sísmica da Barragem Castanhão com mais de 50,00m de altura foi adotada a aceleração horizontal  $a_h = 0,07g$ .

A projetista entende que pode adotar esse mesmo valor na verificação da análise sísmica da Barragem Umari devido ao caráter regional dos estudos de informações sísmica.

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

Os cálculos da estabilidade foram realizados sobre a seção de maior altura que fica na estaca 29+0,00 e tem 19,82m de altura.

As análises efetuadas obedeceram às recomendações da literatura e correspondem as seguintes situações:

Final de Construção – taludes de montante e jusante;

Reservatório Cheio com Fluxo Permanente – talude de jusante;



## Rebaixamento Próprio – talude de montante.

A análise da estabilidade sísmica foi efetuada recorrendo-se ao Método de Bishop Simplificado, também implementado automaticamente pelo soft SLOPE/W. Foram analisadas as situações de final de construção e rebaixamento rápido. O coeficiente de sísmico adotado foi de 0,07g, para as duas direções e situações.

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  $R_u$  para obtenção das tensões neutras. 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  $R_u = U/\sigma$ . 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 esteja na presença de materiais saturados de baixa permeabilidade.

Nos materiais utilizados normalmente para construção de barragem o coeficiente  $R_u$  é inferior a 0,20. No caso específico deste projeto adotou-se  $R_u = 0,10$ .

### b) Definição da Linha Piezométrica

Para as situações 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. A relação  $K_h = 9K_v$  é sugerida pelo Professor Paulo Cruz para maciços compactados com altura de até 20,00m.



### 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 e J-02, foram realizados ensaios de compressão triaxial do tipo CD consolidado drenado nos poços, 20 e 225 da Jazida J-01, 20 da Jazida J-02. Os parâmetros efetivos obtidos são apresentados na tabela 5.7:

**Tabela 5.7: Parâmetros Efetivos do Ensaio Triaxial**

JAZIDA	FURO	C'(KPa)	$\phi'$ (°)
01	20	3	27,5
	225	5	29,3
02	20	10	26,2

Examinando os resultados desses ensaios e levando em consideração a pequena representatividade de ensaios realizados, ou seja, um ensaio por jazida, fez-se uma avaliação geral envolvendo os valores encontrados, as características dos materiais e as indicações de valores de resistência obtidos em materiais semelhantes conforme recomendações do “Bureau of Reclamation”. Das conclusões dessa análise, foram estimados os parâmetros de resistência dos solos das Jazidas J-01 e J-02.

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.

A Tabela 5.8. mostrada a seguir indica os valores dos parâmetros adotados para a análise da estabilidade da barragem:

**Tabela 5.8: Parâmetros Geotécnicos**

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\phi$ (graus)	Ru
Riprap	18,0	0,00	38°	0,00
Espaldar	20,2	8,00	27°	0,10
Filtro	18,0	0,00	35°	0,10



Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\phi$ (graus)	Ru
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00
Núcleo	20,2	10,00	27°	0,10
Cutoff	20,2	10,00	27°	0,10
Aluvião	17,0	0,00	28°	0,10
Solo Residual	21,0	0,00	27°	0,10

### 5.7.2. Resultados Obtidos

#### a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados na Tabela 5.9:

**Tabela 5.9 – Análise de Estabilidade – Estática**

Simulação	C.S. mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,953	1,861	1,859
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,853	1,401	1,774
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,926	1,523	1,512
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante.	1,1	1,854	1,258	1,159

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 na Tabela 5.10:

**Tabela 5.10 – Análise de Estabilidade – Abalo Sísmico**

Simulação	C.S. mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,294	1,548	1,546
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,638	1,650	1,501
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,612	1,282	1,282
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante.	1,0	1,531	1,005	1,005

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

#### 5.8. ESTUDOS DE PERCOLAÇÃO PELA BARRAGEM E FUNDAÇÃO

Os estudos de percolação foram realizados com o objetivo principal de avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação.

Para obtenção dessas vazões foi realizado o seguinte procedimento:

- Vazões pelo Maciço: Determinou-se a linha freática associando esta à parábola teórica de KOZENY fazendo as correções de contorno. Foi adotado uma Anisotropia entre a permeabilidade horizontal e vertical igual a 9. Esse valor é recomendado pelo Profº Paulo Cruz, no seu livro 100 Barragens Brasileiras, para maciços terrosos compactados com altura até 20,00m.

Determinou-se a ordenada  $Y_0$  da interseção da linha freática com o filtro vertical e aplicou-se a expressão para determinação da vazão por metro de barragem.

$$q = \sqrt{k_H \cdot k_V} \cdot Y_0 \text{ m}^3/\text{s x m}$$



b) Vazões pela Fundação: Para avaliação das vazões pela fundação foi usado o processo do traçado da rede de fluxo pela fundação e aplicado a expressão seguinte para o cálculo da vazão por metro:

$$q = K \times H \times \frac{n_f}{n_d}$$

Onde:

$q$  = é a vazão por metro em  $m^3/s/m$ ;

$H$  = carga hidráulica;

$n_f$  = número de canais de fluxo;

$n_d$  = número de queda de potencial.

A rede de fluxo é mostrada nas figuras 5.1 e 5.2 mostradas a seguir:

# SEÇÃO DEFORMADA

ESC.: 1/500

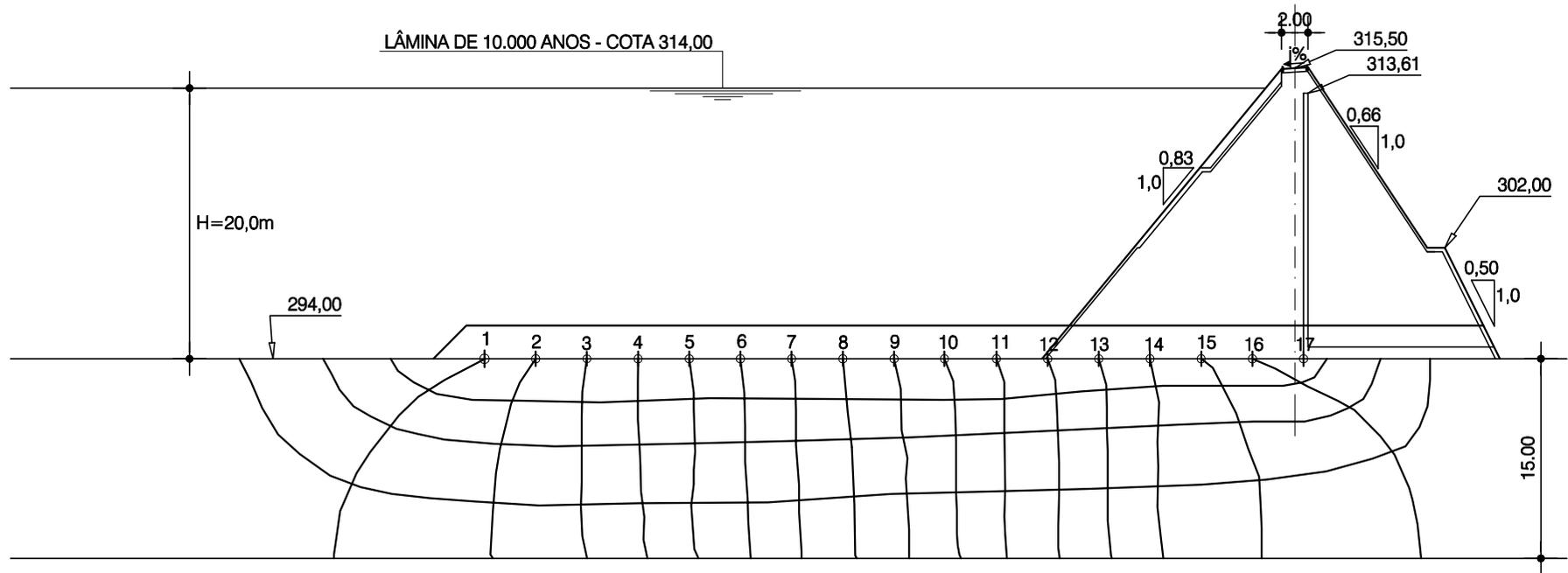


Figura 5.1





Foi adotado a anisotropia entre a permeabilidade vertical e horizontal na relação

$$\frac{K_v}{K_h} = \frac{1}{9}$$

A região do fluxo foi dividida em 17 saltos de potencial e 4 canais de fluxo. A permeabilidade da fundação adotada foi de  $K = 5,50 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$

A camada permeável adotada foi de 15,00m.

A permeabilidade vertical do maciço foi extraída dos ensaios de permeabilidade realizados nos furos das jazidas J-01 e J-02. Os resultados desses ensaios são mostrados na tabela 5.11 abaixo:

**Tabela 5.11 - Coeficiente de Permabilidade**

JAZIDA - 01		JAZIDA - 02	
FURO	K (cm/s)	FURO	K (cm/s)
6	8,9 E-07	2	8,5 E-07
20	9,3 E-07	20	7,5 E-07
53	8,9 E-07	22	7,7 E-07
83	1,0 E-07	42	6,8 E-07
113	9,2 E-07	-	-
139	8,6 E-07	-	-
157	8,7 E-07	-	-
174	8,3 E-07	-	-
191	8,5 E-07	-	-
211	9,2 E-07	-	-
225	8,8 E-07	-	-

Adotou-se a permeabilidade vertical do maciço compactado igual a  $8,2 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ .

Para a areia adotou-se uma permeabilidade de  $7,0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ .

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

$$Q_{\text{maciço}} = 2,30 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s.m}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 3,80 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s.m}$$



A vazão total que sairá pelo tapete horizontal será:

$$Q_{\text{total}} = 4,00 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s.m}$$

### 5.9. ANÁLISE DE 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.

$\sigma_{mi}$  = Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm<sup>2</sup>

$\Delta H_i$  = 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. Para facilidade de determinação, sem que isso implicasse em perda de precisão, optou-se pelo módulo secante.



Outro aspecto considerado foi a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem.

Considerando as Jazidas J-01 e J-02 que comporá o maciço terroso da barragem, o peso específico aparente seco máxima obtido do ensaio de compactação é de  $1,866 \text{ g/cm}^3$  e a umidade ótima correspondente é de 11,3%. O peso úmido será de  $2,07\text{g/cm}^3$ . 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:

**Tabela 5.12.: Tensão Confinante**

Z (m)	Tensão Confinante (kgf/cm <sup>2</sup> )
Menor que 5,0m	1,0
Entre 5,0m e 10,0m	2,0
Maior que 10,0m	4,0

Com base nos resultados dos ensaios triaxiais, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados na Tabela 5.13.:

**Tabela 5.13. - Modulo de Elasticidade**

TENSÃO CONFINANTE (kgf/cm <sup>2</sup> )	MÓDULO DE ELASTICIDADE (k N/m <sup>3</sup> )			Média
	J-01		J-02	
1,0	10.700	9.500	6.800	8.450
2,0	14.300	10.300	9.200	10.750
4,0	17.070	11.900	12.400	13.440

O recalque elástico esperado é de 362,26mm. Esse rebaixamento do coroamento deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário.



### **5.10. INSTRUMENTAÇÃO**

O projeto de instrumentação foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

Verificar as pressões neutras nas fundações e corpo da barragem;

Verificação dos deslocamentos da barragem;

Verificação do nível d'água no reservatório.

Para verificação das pressões neutra na fundação da barragem e no corpo da barragem foi previsto a instalação de piezômetros tipo Casagrande em três seções, sendo duas situadas nas estacas 20 e 37 (ombreiras) e uma na parte central, na estaca 34.

Em cada seção será colocado seis piezômetros mostrados no desenho III-2-31/31-000 do Tomo-2.

A verificação do deslocamento da barragem será feito colocando três marcos superficiais amarrados a marcos de referência para medidas de deslocamento horizontal e vertical. Os marcos superficiais serão colocados no coroamento da barragem nas estacas 20, 35 e 38. Os marcos fixo em número mínimo de três serão escolhidos no campo em locais seguros e indeslocáveis e deverão ser amarrados ao sistema de coordenadas da obra.

A verificação do nível do reservatório será feita colocando-se réguas linimétricas com 1,0m de comprimento.

A primeira régua terá o zero na cota 306,0 m. Está previsto a, colocação de nove réguas no talude de montante. As réguas serão colocadas na estaca 34.

### **5.11. SANGRADOURO**

A mudança do eixo mais a montante foi ocasionada basicamente pela inexistência de um local para sangradouro viável economicamente.



No eixo denominado de “A” reservou-se o local da ombreira esquerda entre as estacas 0A a 10A para colocação do sangradouro.

Inicialmente foram executadas três sondagens mista SM-1A na estaca 0+7,40 m, SM-2A na estaca 3+6,0 m e SM-3A na estaca 10+0,00 m. A sondagem SM-1A apresentou 6,12 m de solo residual e encontrou uma rocha que classificada como gnaiss, apresentando nos três primeiros metros uma rocha com RQD=0,0% sem competência portanto para servir como canal escavado do sangradouro. A rocha mais competente estaria abaixo da cota de interesse. A sondagem SM-2A apresentou apenas 1,19 m de solo residual quando então é encontrado o topo rochoso com variação de 30% a 100% abaixo da cota 310,00 m o RQD=100%, excelente para sangradouro.

A sondagem SM-3A tem um perfil geotécnico semelhante ao da sondagem SM-2A.

Tendo em vista o resultado da sondagem SM-1A a projetista solicitou à SRH a execução de mais algumas sondagens para elucidar as dúvidas que se formaram quando tentou-se imaginar a fundação no local do sangradouro. Foram executados, complemento 16 furos de sondagens, sendo 10 mista e 6 a percussão. A localização dessas sondagens complementares é mostrado na tabela abaixo:

**Tabela 5.14: Localização das Sondagens no Sangradouro**

Sondagem	Localização	Percussão (m)	Rotativa (m)
SM-10 A	3+10 (47,3m/M)	0,50	6,64
SM-11A	4+1,6 (80,5m/J)	3,60	9,25
SM12A	4+16,2 (150m/J)	1,05	11,25
SM-16A	7+10,00 EIXO	0,74	7,26
SM-17A	5+10,00 12,0 m/M	0,85	7,15
SM-18A	6+0,00 50,0 m/M	0,50	5,50
SM-19A	5+0,00 23 m/J	1,80	4,20
SM-20A	3+10,00 20 m/M	1,80	8,33
SM-21A	1+10,00 36 m/M	0,50	11,52



Sondagem	Localização	Percussão (m)	Rotativa (m)
SM-22A	1+10,00 EIXO	0,50	8,50
SP-16	2+8,00 40,00/M	0,44	-
SP-17	2+10,00 70,0 m/M	1,45	-
SP-18	3+0,00 100 m/M	0,75	-
SP-19	5+0,00 140 m/M	0,50	-
SP-20A	Poligonal 400 m/J	0,50	-
SP-21	Poligonal 550 m/J	6,20	-

Examinando os perfis dessas sondagens observa-se que as sondagens mista mostraram que a rocha é de boa qualidade e que o sangradouro pode ser executado em canal escavado em rocha. As sondagens percussivas serviram para mostrar que a capa de solo na área da escavação variará de 0,50 m a 1,80 m.

A soleira foi fixada na cota 310,00 m por questões de interferência do nível do lago com a ponte da BR-020.

Antes de fixar a largura do sangradouro foram simulados escavações com larguras de 60,0 m, 80,0 m e 100,00 m e comparado os volumes de rocha obtida da escavação com os volumes necessários. Os resultados desses cálculos são mostrados nas planilhas a seguir:

#### PLANILHA 1

SANGRADOURO (L=60m)				
COTA (m)	ÁREA (m <sup>2</sup> )	ÁREA MÉDIA (m <sup>2</sup> )	VOLUME PARCIAL (m <sup>3</sup> )	VOLUME ACUMULADO (m <sup>3</sup> )
323	120,18			
322	753,18	436,6755	436,6755	436,6755
321	1.597,42	1175,298	1175,298	1611,9735
320	2.872,80	2235,1105	2235,1105	3847,084
319	4.514,60	3693,7015	3693,7015	7540,7855
318	6.855,41	5685,0045	5685,0045	13225,79
317	8.560,18	7707,795	7707,795	20933,585



<b>SANGRADOURO (L=60m)</b>				
<b>COTA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA MÉDIA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUME PARCIAL (m<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUME ACUMULADO (m<sup>3</sup>)</b>
316	10.130,62	9345,4025	9345,4025	30278,9875
315	11.607,66	10869,143	10869,143	41148,1305
314	12.802,76	12205,211	12205,211	53353,3415
313	14.089,73	13446,246	13446,246	66799,5875
312	15.199,16	14644,4475	14644,4475	81444,035
311	16.931,93	16065,5475	16065,5475	97509,5825
310	18.491,05	17711,4935	17711,4935	115221,076

Volume de Escavação em Solo =  $17.711 \text{ m}^2 \times 1,85\text{m} = 32.765\text{m}^3$

Volume de Escavação em Rocha =  $115.221 - 32,765 = 82.456 \text{ m}^3$

#### **Necessidades de Material Pétreo nas Obras**

Transições + Dreno	16.700
Proteção Talude Jusante	6.460
Rip-rap + Rock Fill	39.950
TOTAL (m <sup>3</sup> )	63.110

#### **PLANILHA 2**

<b>SANGRADOURO (L=80m)</b>				
<b>COTA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA MÉDIA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUME PARCIAL (m<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUME ACUMULADO (m<sup>3</sup>)</b>
326	0			
325	56,83	28,415	28,415	28,415
324	426,51	241,67	241,67	270,085
323	1.026,80	726,655	726,655	996,74
322	1.863,60	1445,2	1445,2	2441,94
321	2.999,35	2431,475	2431,475	4873,415
320	4.486,49	3742,92	3742,92	8616,335
319	6.294,03	5390,26	5390,26	14006,595
318	8.815,55	7554,79	7554,79	21561,385
317	10.946,56	9881,055	9881,055	31442,44
316	13.145,88	12046,22	12046,22	43488,66
315	15.179,28	14162,58	14162,58	57651,24



<b>SANGRADOURO (L=80m)</b>				
<b>COTA (m)</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA MÉDIA (m<sup>2</sup>)</b>	<b>VOLUME PARCIAL (m<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUME ACUMULADO (m<sup>3</sup>)</b>
314	17.186,62	16182,95	16182,95	73834,19
313	18.851,44	18019,03	18019,03	91853,22
312	20.448,72	19650,08	19650,08	111503,3
311	23.105,77	21777,245	21777,245	133280,545
310	25.549,28	24327,525	24327,525	157608,07

Volume de Escavação em Solo =  $24,327 \text{ m}^2 \times 1,85\text{m} = 45.005\text{m}^3$

Volume de Escavação em Rocha =  $157.608 - 45.005 = 112.603 \text{ m}^3$

#### **Necessidades de Material Pétreo nas Obras**

Transições + Dreno	16.700
Proteção Talude Jusante	6.460
Rip-rap + Rock Fill	39.950
TOTAL (m <sup>3</sup> )	63.110

Examinando essas planilhas verifica-se que os volumes de rocha escavado excedem em muito as necessidades. Entretanto uma largura menor não pode ser testada face a limitação do nível inferior da superestrutura da ponte da BR-020.

Portanto o sangradouro ficará com 60,00 m de largura e soleira na cota 310,00 m.

Com essa geometria a escavação total do canal será de  $115.221 \text{ m}^3$  sendo  $32.765 \text{ m}^3$  em solo e  $82.456 \text{ m}^3$  em rocha.

Com 60,00 m de largura a vazão milenar efluente será de  $932 \text{ m}^3/\text{s}$  e a lâmina é de 3,61 m.

Não é necessário a execução de muros laterais tendo em vista que na cota da soleira a escavação é em rocha.

Devido as irregularidades das escavações, principalmente em rocha, foi previsto a execução de dois cordão de concreto para fixação da cota da soleira.



O material excedente da escavação será colocado numa área que fica a jusante do sangradouro para formar um dique, com objetivo de proteger um aglomerado de casas que existe nesse local, caso as águas de sangria não siga o percurso previsto para restituir as águas ao leito do rio.

Os detalhes em planta, perfil e seções do projeto do sangradouro encontra-se no desenho III-2-23/31-000, do tomo 2.

### **5.12. TOMADA D'ÁGUA**

A tomada d'água será implantada na estaca 42A+10,00 m. Ela consistirá de um tubo de aço ASTM-36 produzido com chapas de 5/16" no diâmetro de  $\phi=500\text{mm}$ . A tubulação será envolvida por uma estrutura de concreto armado. A extensão da tubulação é de 78,0 m. O eixo da galeria ficará na cota 302,00 m. O dimensionamento foi feito de forma que na cota 304,0 m, nível do volume de alerta, a galeria retire uma vazão de  $0,39\text{ m}^3/\text{s}$ .

A barragem na cota do volume de alerta estará acumulando um volume de  $7,49\text{hm}^3$ , correspondente a 21,3%.

Está previsto a execução de duas caixas, uma de montante que terá uma grade de ferro e um a chapa tipo "stop-log" e a outra em jusante que terá três células. A primeira acomodará uma válvula borboleta e um registro de gaveta. A segunda terá um anteparo para dissipar o excesso de energia cinética. A terceira será um tanque tranquilizador que terá na saída um sangradouro triangular para medição de vazão.

As caixas serão construídas em concreto armado.

As peças especiais, crivo, válvula borboleta e registro de gaveta, serão todos de fabricação BARBARÁ ou similar com as seguintes referências:

**VÁLVULA BORBOLETA:** válvula com flange série AWWA com diâmetro  $\phi=500\text{mm}$  com corpo e disco em FoFo com acionamento manual através de mecanismo de redução através de volante.



REGISTRO DE GAVETA: o registro de gaveta será com flanges com cunha de borracha, de corpo longo, com face a face igual ao das válvulas série métrica oval classe PN 16 com diâmetro de  $\phi=500\text{mm}$  e acionamento do tipo direto.

Os tubos serão de aço ASMT-36 produzidos de chapas de 5/16". Os tubos receberão flanges nos encontros com as peças de ferro fundido.

A galeria será operada normalmente na válvula borboleta ajustando a vazão no medidor de vazão.



MONTGOMERY WATSON



## **6. CANTEIRO DE OBRA**

---



## 6. CANTEIRO DE OBRA

A área destinada ao canteiro de obra está localizada na ombreira esquerda, 300m a montante do eixo barrável, próximo da localidade de Salgadinho.

O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada existente, a qual deverá sofrer melhorias na estrutura para comportar o tráfego durante as obras e no traçado, para evitar conflito com o tráfego de moradores da localidade. O acesso ao canteiro é feito a partir desta estrada.

Optou-se por instalar o canteiro neste local pelo rápido acesso à BR-020 e por dispor de energia elétrica. Desta forma é possível concentrar as instalações em um só ponto, facilitando o gerenciamento e a fiscalização dos serviços.

A instalação mínima para o canteiro de obra deverá ser composta dos seguintes elementos:

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



MONTGOMERY WATSON



## 7. CRONOGRAMA FÍSICO

---



## 7. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Umari 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 7.1.

Considerou-se na concepção do cronograma de construção que as obras de terraplenagem tem seu andamento prejudicado no período chuvoso do ano, devendo, portanto serem 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 barragem auxiliar;
- c) Execução da tomada d'água;
- d) Execução da barragem;
- e) Execução da drenagem superficial e instrumentação.

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



### **Período de Janeiro a Maio**

- a) Escavação do Sangradouro;
- b) Escavação do Canal da Tomada D'Água;
- c) Execução da Tomada D'água;
- d) Execução do Dreno de Pé da Barragem Auxiliar e Barragem Principal (Parcialmente).

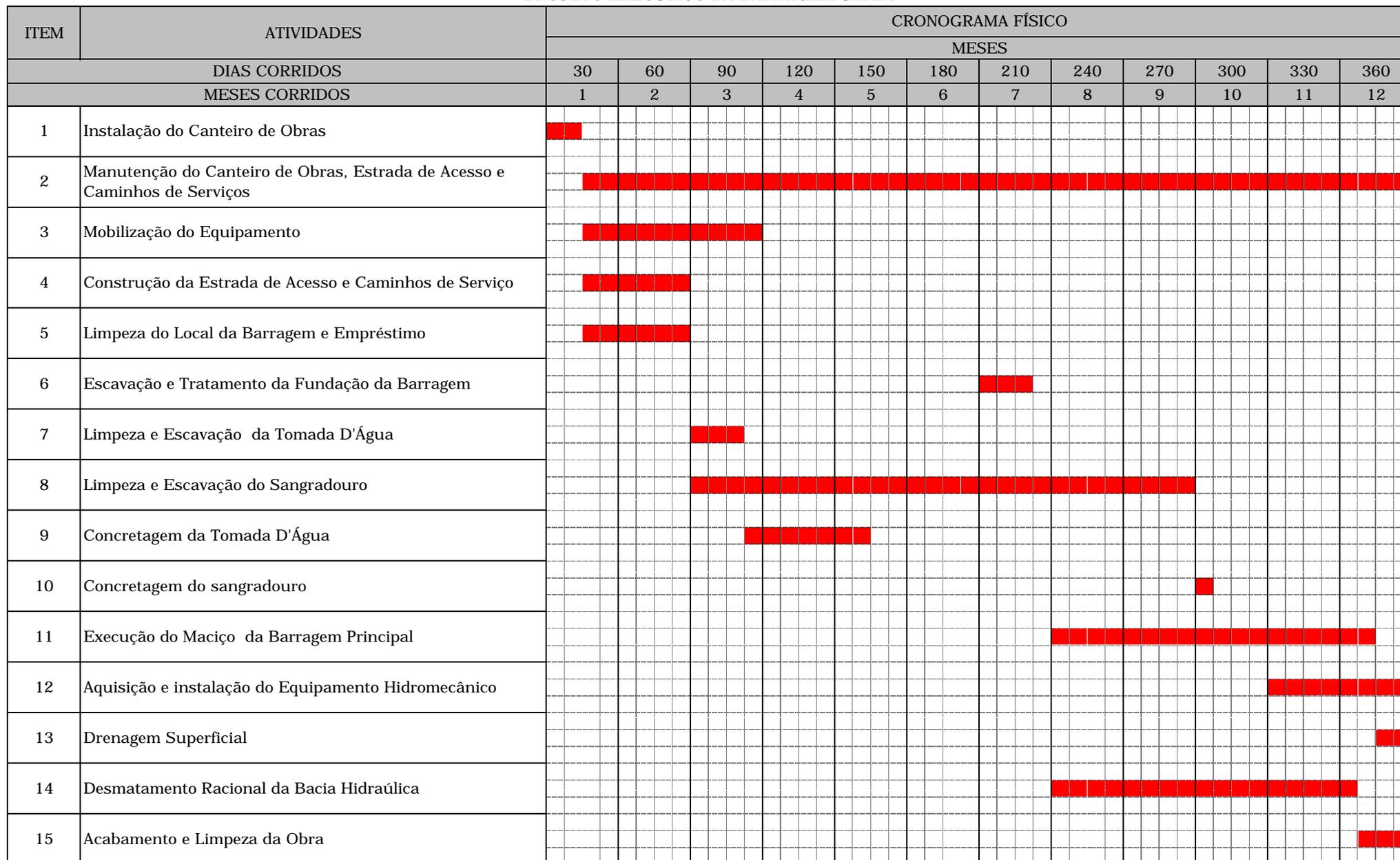
### **Período de Junho a Julho**

- a) Escavação do Sangradouro;
- b) Conclusão da Tomada D'água;
- c) Execução da Barragem Auxiliar;
- d) Escavação obrigatória da Área da Fundação do Maciço Principal;
- e) Escavação e Execução do cut-off da Barragem Principal (ombreira).

### **Período de Agosto a Dezembro**

- a) Conclusão das Escavações do Sangradouro;
- b) Início e Conclusão da Barragem Principal;
- c) Revestimento do Coroamento e Talude de Jusante;
- d) Execução da Drenagem Superficial;
- e) Execução da Instrumentação;
- f) Desmatamento Racional da Bacia Hidráulica.

**FIGURA 7.1 - CRONOGRAMA FÍSICO**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ - SRH/CE**  
**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM UMARI**





MONTGOMERY WATSON



## **8. EQUIPAMENTO MÍNIMO**

---



## 8. EQUIPAMENTO MÍNIMO

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

### 8.1. RELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS 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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	01
12.	Conjunto de britagem com capacidade igual ou superior a 20m <sup>3</sup> /h	01
13.	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	01
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)	01
16.	Grade de disco com capacidade de 20 discos de 24"	02
17.	Sapo mecânico	02
18.	Marteletes de 24Kg	04

**Consórcio**

---



**MONTGOMERY WATSON**

