

**BARRAGEM RIACHO DO MEIO**

**MÓDULO IV – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM**  
**VOLUME I – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO**  
**TOMO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO**

EDITADO EM AGOSTO DE 2006

**ÍNDICE**

## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3 – ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 – CARTOGRAFIA.....	20
3.2 – TOPOGRAFIA .....	21
<b>3.2.1 – Levantamento do Eixo Barrável e do Vertedouro.....</b>	<b>21</b>
3.2.1.1 – Locação dos eixos e Implantação de Marcos .....	21
3.2.1.2 – Nivelamento.....	22
3.2.1.3 – Levantamento de Seções Transversais.....	22
<b>3.2.2 – Levantamento do Canal de Restituição.....</b>	<b>22</b>
3.2.2.1 – Locação .....	22
3.2.2.2 – Nivelamento e Levantamento de Seções Transversais.....	23
<b>3.2.3 – Coordenadas e Cotas .....</b>	<b>23</b>
3.3 – INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS .....	23
<b>3.3.1 – Investigações Geológicas.....</b>	<b>24</b>
3.3.1.1 – Geologia Regional .....	24
3.3.1.2 – Geologia Local.....	25
<b>3.3.2 – Investigações Geotécnicas.....</b>	<b>26</b>
3.3.2.1 – Descrição das Sondagens Executadas .....	29
3.3.2.2 – Sondagens a Pá e Picareta .....	29
3.3.2.3 – Sondagens a Percussão.....	29
3.3.2.4 – Sondagens Mistas .....	29

3.3.2.5 – Ensaio In Situ.....	30
3.3.2.5.1 – Ensaio de Permeabilidade com Carga Constante .....	30
3.3.2.5.2 – Ensaio de Perda D'Água Específica .....	30
3.3.2.6 – Pesquisa de Jazidas.....	31
3.3.2.6.1 – Jazidas de Solo (Empréstimos 1 e 2) .....	31
3.3.2.6.2 – Jazidas de Areia (Areal 1) .....	33
3.3.2.6.3 – Pedreira .....	33
3.3.2.7 – Ensaio de Laboratório.....	34
3.4 – HIDROLOGIA .....	34
<b>3.4.1 – Característica Física da Bacia Hidrográfica .....</b>	<b>34</b>
<b>3.4.2 – Estudo de Cheias.....</b>	<b>35</b>
3.4.2.1 – Metodologia .....	35
3.4.2.2 – Precipitação .....	36
3.4.2.3 – Precipitação Efetiva .....	37
3.4.2.4 – Hidrograma Unitário – SCS .....	40
<b>3.4.3 – Curvas de Regulação do Reservatório .....</b>	<b>42</b>
3.4.3.1 – Metodologia .....	42
3.4.3.2 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico .....	42
3.4.3.3 – O Diagrama Triangular de Regularização .....	44
3.4.3.4 – Resultados.....	45
<b>3.4.4 – Dimensionamento do Vertedouro .....</b>	<b>48</b>
3.4.4.1 – Propagação da Cheia no Reservatório.....	48
3.4.4.2 – Resultados.....	49
3.4.4.3 – Resultados para Chuva de Duração de Dois Dias.....	50

<b>3.4.5 – Estudos Adicionais .....</b>	<b>53</b>
3.4.5.1 – Introdução.....	53
3.4.5.2 – Probabilidades de Enchimento e Esvaziamento – Equilíbrio.....	53
3.4.5.3 – Assoreamento do Açude Riacho do Meio.....	54
<b>3.4.6 – Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos .....</b>	<b>56</b>
<b>4 – ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA...</b>	<b>60</b>
<b>5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO.....</b>	<b>62</b>
5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E VERTEDOURO.....	62
5.2 – REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO .....	63
5.3 – GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO .....	63
5.4 – LOCAL DE BOTA-FORA.....	63
5.5 – TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES .....	63
5.6 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO .....	64
5.7 – CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DA BARRAGEM .....	64
5.8 – VAZÕES DE PERCOLAÇÃO PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO .....	70
5.9 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE.....	73
<b>5.9.1 – Método Bihop Simplificado .....</b>	<b>75</b>
<b>5.9.2 – Programa Slope/W.....</b>	<b>76</b>
5.9.2.1 – Método de Análise .....	77
5.9.2.2 – Geometria e Estratigrafia.....	77
5.9.2.3 – Superfície de Escorregamento .....	77
5.9.2.4 – Pressão Neutra.....	77
5.9.2.5 – Propriedade do Solo .....	78
5.9.2.6 – Definição do Problema .....	79

5.9.2.7 – Resolução do Problema .....	79
5.9.2.8 – Apresentação dos Resultados .....	80
5.9.2.9 – Formulário .....	80
<b>5.9.3 – Resultados Obtidos.....</b>	<b>81</b>
5.10 – TOMADA D'ÁGUA.....	82
5.11 – VERTEDOURO .....	83
<b>5.11.1 – Perfil Creager .....</b>	<b>85</b>
<b>5.11.2 – Cálculo da Lâmina na Entrada do Canal Rápido .....</b>	<b>87</b>
<b>5.11.3 – Determinação da Linha D'Água.....</b>	<b>88</b>
<b>5.11.4 – Dimensionamento da Bacia de Dissipação .....</b>	<b>91</b>
<b>5.11.5 – Dimensionamento dos Chumbadores .....</b>	<b>91</b>
5.12 – RELAÇÃO DOS DESENHOS.....	92
<b>6 – CANTEIRO DE OBRA .....</b>	<b>95</b>
<b>7 – EQUIPAMENTO MÍNIMO.....</b>	<b>97</b>

**APRESENTAÇÃO**

## **APRESENTAÇÃO**

O consórcio KL – Serviços de Engenharia S/S Ltda, MABE – Infra-Estrutura e Serviços Ltda e ENERCONSULT S/A, no âmbito do contrato Nº11/PROGERIRH/CE/SRH/2003 do Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – PROGERIRH tem por finalidade a Elaboração dos Estudos de Viabilidades Técnicas, Ambientais, Econômicas, Eias - Rimas, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliação Financeira e Econômica referentes às Barragens: Mamoeiro, Riacho do Meio, Melancia, Jucá e Jatobá e Adutoras de Antonina do Norte, Granjeiro e Ipueiras.

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

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

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

### Módulo II: Estudos Básicos, Anteprojetos e Avaliações

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Relatório Geral – Textos

TOMO 2 – Estudos Hidrológicos

TOMO 3 – Estudos Cartográficos

TOMO 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

TOMO 5 – Estudos Pedológicos

VOLUME II: Anteprojetos

TOMO 1 – Relatório de Concepção Geral

TOMO 1A – Desenhos e Plantas

TOMO 1B – Memória de Cálculo

VOLUME III: Avaliações Financeiras e Econômicas

TOMO 1 – Relatório de Avaliações Financeira e Econômica

Módulo III: Estudos dos Impactos no Meio Ambiente (EIA/RIMA)

VOLUME I: EIA

VOLUME II: RIMA

**Módulo IV: Projeto Executivo da Barragem**

**VOLUME I: Detalhamento do Projeto Executivo**

**TOMO 1 – Memorial Descritivo do Projeto**

TOMO 2 – Desenhos do Projeto

TOMO 3 – Memória de Cálculo

TOMO 4 – Especificações Técnicas

TOMO 5 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 6 – Síntese

Módulo V: Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I: Levantamento Cadastral

TOMO 1 – Relatório Geral

TOMO 2 – Laudos Individuais de Avaliação

TOMO 3 – Levantamentos Topográficos

VOLUME II: Plano de Reassentamento

TOMO 1 – Relatório Final do Reassentamento

Módulo VI: Projeto Executivo das Adutoras

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Levantamentos Topográficos

TOMO 2 – Investigações Geotécnicas

VOLUME II: Anteprojeto

VOLUME III: Detalhamento do Projeto Executivo

TOMO 1 – Memorial Descritivo

TOMO 2 – Memória de Cálculo

TOMO 3 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medições

Módulo VII: Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME I: Manuais de Operação e Manutenção

O presente relatório que trata da **Barragem Riacho do Meio**, aqui nomeado como Volume I – Detalhamento do Projeto Executivo, **Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto**, é parte integrante do Módulo IV – Projeto Executivo da Barragem.



## 1 – INTRODUÇÃO

O consórcio constituído pelas empresas KL – Serviços de Engenharia S/S Ltda, MABE – Infra-Estrutura e Serviços Ltda e ENERCONSULT S/A vem, através desta, apresentar, em atendimento ao Contrato N°11/PROGERIRH/SRH/2003, o Projeto Executivo da Barragem Riacho do Meio.

Neste volume que corresponde ao TOMO 1 do VOLUME I é apresentado o Memorial Descritivo do Projeto.

Este relatório de concepção foi desenvolvido abordando os seguintes capítulos:

- Localização e Acessos;
- Análise dos Estudos Básicos;
- Investigações Geológicas e Geotécnicas;
- Alternativas Examinadas e Justificativa da Opção Escolhida;
- Descrição do Projeto;
- Canteiro de Obra;
- Equipamento Mínimo.

A seguir é mostrado a Ficha Técnica da Barragem Riacho do Meio onde se discrimina os principais elementos técnicos.

### FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DO MEIO

#### Identificação

Denominação:..... Barragem Riacho do Meio

Estado:.....Ceará

Município:.....Granjeiro

Rio Barrado:.....Riacho do Meio

Coordenadas UTM (SAD-69):.....E(X)=473.500; N(Y)=9.242.300

Proprietário:.....SRH/CE

AUTOR DO PROJETO:.....CONSÓRCIO KL ENGENHARIA, MA/BE E ENERCONSULT

DATA DO PROJETO:.....JULHO/2005

### **Bacia Hidrográfica**

ÁREA	DA	BACIA	HIDROGRÁFICA
TOTAL:.....		91,21KM <sup>2</sup>	

Perímetro da Bacia Hidrográfica.....41,91km

Fator de Compacidade.....1,24

Fator de Forma.....0,28

Tempo de Concentração.....2,98h

Declividade Média:.....16,67m/km

Comprimento do Rio Principal:.....18,00km

Pluviosidade Média Anual:.....1.001,4mm

Evaporação Média Anual:.....2.289,0mm

Evapotranspiração Potencial (Hargreaves):.....1.973,4mm

INSOLAÇÃO MÉDIA ANUAL:.....2.848H

Umidade Relativa Média Anual:.....63,6%

Temperatura Média Anual: Média das Máximas.....31,5°C

Temperatura Média Anual: Média das Médias .....25,2°C

Temperatura Média Anual: Média das Mínimas.....20,5°C

Classificação Climática: .....DS2A'a'

Classificação Climática Segundo Koeppen:.....BWx'

### **Características do Reservatório**

Área da Bacia Hidráulica (cota 320,00m):.....241,5ha

Volume Acumulado (cota 320,00m):.....18,375hm<sup>3</sup>  
Volume Afluente Médio Anual:.....3,419hm<sup>3</sup>/ano  
Vazão Regularizada (90%):.....0,113m<sup>3</sup>/s  
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):.....603,5m<sup>3</sup>/s  
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=10.000 anos):.....785,0m<sup>3</sup>/s  
Nível d'água Máximo (TR=1.000 anos):.....322,00m  
Nível d'água Máximo Maximorum (TR=10.000 anos).....322,30m

### **Barragem Principal – Tipo Homogênea de Terra**

Altura Máxima:.....32,27m  
Largura do Coroamento:.....6,50m  
Extensão pelo Coroamento:.....309,06m  
Cota do Coroamento:.....323,00m  
Largura Máxima da Base:.....125,16m  
Talude de Montante:.....1,0(V):2,0(H)  
Talude de Jusante:.....1,0(V):2,0(H)

### **Tomada D'Água**

Tipo:.....Tubo Flangeado em Aço Carbono Envelopado por Galeria de Concreto  
Diâmetro:.....1-  $\phi=300$ mm  
Cota do Eixo da Tubulação:.....306,00m  
Controle de Montante:.....Comporta Stop-Log com Acionamento Manual  
Controle de Jusante:  
Registro de Gaveta:.....1-  $\phi=300$ mm  
Válvula Borboleta:.....1-  $\phi=300$ mm

Volume Morto (cota 308,00m):.....0,07hm<sup>3</sup>

### **Vertedouro**

Tipo:.....Perfil Creager, Canal Rápido e Bacia de Dissipação

Soleira:

Cota:.....320,00m

Largura:.....100,00m

Canal Rápido:

Cota Inicial:.....317,30m

Cota Final:.....298,30m

Largura:.....60,00m

Extensão:.....400,00m

Bacia de Dissipação:

Cota:.....298,30m

Largura:.....60,00m

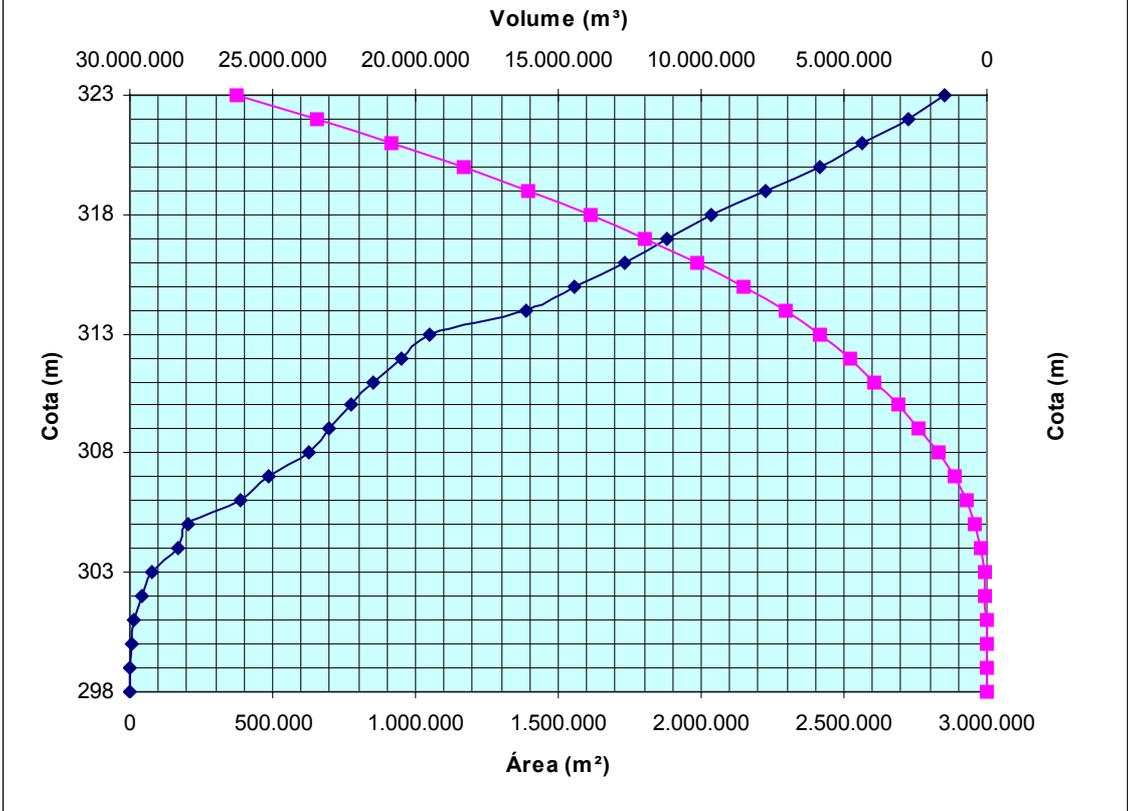
Extensão:.....40,00m

Os dados da Curva Cota x Área x Volume são mostrados no **Quadro Nº1.1** e a Curva é mostrada no **Gráfico Nº1.1**.

<b>Quadro Nº1.1: Curva Cota x Área x Volume</b>		
<b>Cota (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
298,0	0,00	0,00
299,0	1.110,59	555,30
300,0	5.320,97	3.771,08
301,0	14.879,97	13.870,05
302,0	39.932,42	41.274,74
303,0	78.938,83	100.710,37
304,0	168.871,70	224.615,63
305,0	206.706,65	412.404,81
306,0	390.398,48	710.957,37

<b>Quadro Nº1.1: Curva Cota x Área x Volume</b>		
<b>Cota (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
307,0	487.426,95	1.149.870,09
308,0	629.013,92	1.708.090,52
309,0	695.770,58	2.370.482,77
310,0	777.070,64	3.106.903,38
311,0	851.649,83	3.921.263,62
312,0	948.055,61	4.821.116,34
313,0	1.048.970,43	5.819.629,36
314,0	1.388.010,13	7.038.119,64
315,0	1.556.923,89	8.510.586,65
316,0	1.730.407,92	10.154.252,55
317,0	1.882.514,59	11.960.713,81
318,0	2.037.731,41	13.889.602,72
319,0	2.227.312,54	16.022.124,69
320,0	2.415.112,46	18.343.337,19
321,0	2.561.025,13	20.831.405,99
322,0	2.722.473,12	23.473.155,11
323,0	2.852.551,25	26.260.667,30

Gráfico Curva Cota Área Volume



## **2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

### **2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

O sítio do barramento localiza-se no Riacho do Meio, no município de Granjeiro.

O acesso ao local da obra é feito a partir de Fortaleza pela rodovia federal BR-116, até chegar ao Triângulo de Quixadá, percorrendo 75,0 km. Do Triângulo de Quixadá, pega-se a rodovia estadual CE-359, percorrendo 83,0 km até chegar em Quixadá. Em Quixadá pega-se a rodovia estadual CE-060 até Iguatu, percorrendo 226,1 km e passando pelas cidades de Quixeramobim, Mombaça e Acopiara.

Pela mesma rodovia estadual, a CE-060 sai de Iguatu e chega em Várzea Alegre, percorrendo 60,0 km.

Em Várzea Alegre, pega-se a Rodovia Federal BR-230 por 10 km em direção a Lavras da Mangabeira, até atingir o entroncamento da Estrada Estadual, denominada de CE-060, recentemente pavimentada, que leva a cidade de Granjeiro. Para a cidade de Granjeiro, percorre-se 19 km.

Para atingir o eixo selecionado, Eixo IV, tem de estar na CE-060, na entrada para Lagoa dos Órfãos (do entroncamento da BR-230 com a CE-060, a distância a ser percorrida é de 14 km, pela rodovia estadual), e pega-se uma estrada vicinal carroçável a direita. da Lagoa dos Órfãos até o local da barragem, percorre-se 5,0 km.

Na **Figura 2.1** é apresentado o mapa de localização e acesso.

**Mapa de Localização FIG 2.1A**



## **3 – ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS**

### **3 – ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS**

Neste capítulo é apresentado a Análise dos Estudos Básicos.

#### **3.1 – CARTOGRAFIA**

Os estudos cartográficos consistiram no levantamento aerofotogramétrico na área do reservatório da Barragem Riacho do Meio, enquadrada geograficamente nas coordenadas 6°47' – 6°57' S e 39°19' – 39°11' WGR.

Os serviços cartográficos realizados foram os seguintes:

- Cobertura aerofotogramétrica de uma área de 102,91 km<sup>2</sup>, na escala de 1:15.000;
- Implantação do apoio básico com 3 marcos de concreto;
- Apoio fotogramétrico de 102,91 km<sup>2</sup> voado com levantamento de 25 HV's;

- Aerotriangulação de 27 modelos, perfazendo uma área de 102,91 km<sup>2</sup>;
- Restituição estereofotogramétrica digital de uma área de 3,20 km<sup>2</sup> na escala de 1:5.000;
- Confeção e edição final de 3 plantas topográficas na escala de 1:5.000, perfazendo um total de 3,20 km<sup>2</sup> de edição cartográfica.

## 3.2 – TOPOGRAFIA

- Os estudos topográficos da Barragem Riacho do Meio constituíram na execução dos seguintes serviços, a saber:
- Levantamento do Eixo Barrável e do Vertedouro;
- Levantamento do Canal de Restituição;
- Coordenadas e Cotas.

### 3.2.1 – Levantamento do Eixo Barrável e do Vertedouro

O eixo da barragem Riacho do Meio foi locado em um boqueirão com características topográficas favoráveis, onde o vertedouro foi pré-definido e estudado em outro boqueirão com características topográficas semelhantes situada na ombreira esquerda.

Os levantamentos topográficos do eixo barrável e do vertedouro, foram executados através de locação de Estação Total, pelo método de coordenadas com identificação dos eixos: Este, Norte, elevação e descrição dos pontos identificados. Os serviços realizados foram: locação; implantação de marcos para futura relocação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

#### 3.2.1.1 – Locação dos eixos e Implantação de Marcos

Utilizando-se GPS manual e a Estação Total descrita anteriormente, locou-se o eixo da barragem e do vertedouro, 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 eixo da barragem parte da estaca 00, localizada na ombreira esquerda, onde implantou-se o marco de concreto M-1, seguindo daí até a estaca final 25+4,28, onde o

marco de concreto M-3 foi implantado e no sentido oposto até o eixo do vertedouro, estaca –06+6,83 metros, totalizando uma extensão de 631,11 metros.

O eixo do vertedouro possui estaqueamento no mesmo sentido, isto é, o estaqueamento cresce da esquerda para a direita, partindo da estaca 00 e finalizando na estaca 05, perfazendo um total de 100,00 metros de extensão.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

MARCO	ESTACA	COORDENADAS UTM (m)	
		ESTE	NORTE
M-1	00	473.500,000	9.242.300,000
M-2	24+6,38	473.653,579	9.241.838,680
M-3	25+4,28	73.659,291	9.241.821,539

### 3.2.1.2 – Nivelamento

O levantamento altimétrico da barragem Riacho do Meio e o seu respectivo vertedouro, foi realizado utilizando-se GPS manual GARMIN 12 e Estação Total, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado.

### 3.2.1.3 – Levantamento de Seções Transversais

Foram levantadas seções transversais ao eixo da barragem e do vertedouro a cada 20 metros abrangendo uma faixa de domínio com largura de 150 metros à montante e à jusante, e se constituíram de pontos cotados a cada 10 metros, considerando também os pontos de destaque do relevo topográfico.

## 3.2.2 – Levantamento do Canal de Restituição

Assim como o eixo barrável e o vertedouro, o canal de restituição da barragem Riacho do Meio, foi levantado plani-altimetricamente através do processo de Estação Total, pelo método de coordenadas com identificação dos eixos: Este, Norte, elevação e descrição dos pontos identificados. Os serviços topográficos executados no canal de restituição, foram os seguintes: locação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

### 3.2.2.1 – Locação

Locou-se o canal de restituição utilizando-se Estação Total, 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 02 do eixo do vertedouro, foi locada a poligonal do canal de restituição com 1.065,45 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até o Riacho do Meio.

#### 3.2.2.2 – Nivelamento e Levantamento de Seções Transversais

Utilizando-se o mesmo equipamento citado no item anterior, 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 10 metros. A partir desse levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro.

#### 3.2.3 – Coordenadas e Cotas

Em relação às coordenadas utilizadas para o levantamento, estas foram fornecidas pela TOPOCART, empresa responsável pelos serviços cartográficos.

Também foram utilizadas cotas fornecidas pela TOPOCART, empresa responsável pelos serviços cartográficos.

### 3.3 – INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

As investigações executadas para caracterização geológico-geotécnica da região das obras, foram divididas em duas fases, a saber: estudos geológicos de superfície e investigações geotécnicas de subsuperfície.

Os estudos geológicos de superfície constaram do mapeamento geológico do sítio barrável, área do vertedouro e estudos de reconhecimento superficial dos materiais a serem utilizados na construção da barragem e estruturas adjacentes.

As sondagens de subsuperfície efetuadas ao longo do sítio barrável, área do vertedouro e jazidas de materiais terrosos e arenosos consistiram na Abertura de Poços de Inspeção a Pá e Picareta (SPP), Sondagens a Percussão (SP), Sondagens Mistas (SM) e Sondagens Rotativas (SR) com ensaios “in situ” do tipo Perda d’água Específica e Permeabilidade com carga constante (LE FRANC).

É interessante ressaltar que, quando da execução das investigações geotécnicas, houve extração de amostras deformadas de solo do eixo barrável e das jazidas, de modo a se proceder às análises de laboratório indispensáveis à caracterização dos materiais existentes na região.

Todos os procedimentos utilizados seguiram as normas preconizadas pela ABNT.

### **3.3.1 – Investigações Geológicas**

A seguir serão apresentados os resultados do estudo geológico realizado.

#### **3.3.1.1 – Geologia Regional**

A descrição da Geologia Regional é apresentada neste relatório com base em pesquisa bibliográfica de trabalhos de geologia realizados na região, tendo como fonte o Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em convênio com o Governo do Estado do Ceará, em 1983.

A área em estudo é ocupada por rochas cristalinas do Pré-Cambriano Indiferenciado, e está inserida em um estreito pediplano, que consiste de um conjunto profundamente arrasado, cuja forma suavemente é interrompida por forte ruptura de declive com as serras formadas por migmatitos e gnaisses diversos. São encontradas também formações mais recentes, pertencentes ao Cenozóico, agrupando sedimentos inconsolidados de idade Tercio-quadernária (coberturas colúvio-eluviais) e sedimentos Quaternários que se acumulam nas calhas e margens dos rios (aluviões). As unidades litoestratigráficas mapeadas na região pelo Projeto Radambrasil – vol. 23 (Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal), escala 1:500.000, foram descritas da seguinte forma:

**Unidade Sem Denominação – PX (incluindo rochas PXtsq e PI(B)):** É constituída por uma associação complexa de migmatitos e gnaisses diversos. Os gnaisses apresentam-se com composição oscilando entre granítica e diorito-tonalítica, encerrando jazimentos, subordinados, de metacalcários, quartzitos, rochas calcissilicáticas (tactitos), anfibolitos, metabasitos e metaultrabasitos, além de rochas gabro-dioríticas, coexistindo em contatos gradacionais e, por vezes, arrançados em tramas híbridas onde pode ocorrer fácies granodioríticas, granitóides, migmatitos porfiroblásticos. Sua ocorrência é estreita, fazendo contato com o pé da Serra do Furtado, local de implantação do eixo barrável.

**Complexo Lavras da Mangabeira (PIf) e (PIx):** Filitos (PIf); micaxistos, preferencialmente de baixo grau de metamorfismo (sericita-clorita, muscovita-biotita,

muscovita-biotita-granada), e secundariamente de grau médio (granada-cianita, granada-biotita-silimanita, andaluzita-cordierita-silimanita e biotita-estauroлита-granada (Plx). Sua ocorrência se dá a leste da bacia hidráulica e da localidade de Granjeiro.

**Granitóides (PSy):** Granitóides a biotita e/ou hornblenda (mais ou menos mucovita) de composição granítica a granodiorítica, com fácies sienítica, de grã média a grosseira, porfiroblásticos ou não, em parte exibindo estrutura xenolítica. Sua coloração oscila entre rósea e vermelha. Sua ocorrência esta restrita à Serra do Furtado, localizada a noroeste/oeste da bacia hidráulica.

**Coberturas Colúvio-Eluviais (TQc):** na área onde estão expostas as rochas cristalinas, ocorrem tabuleiros constituídos por sedimentos costeiros de natureza colúvio-eluvial. Litologicamente são caracterizados por sedimentos argilo-arenosos ou somente argilosos de cor alaranjada ou avermelhada, de granulação fina e média, inconsolidados, com horizonte lateritizado na base. A falta de estratificação, o caráter arcoseano, a morfoscopia dos grãos de quartzo e a presença de minerais micáceos e feldspáticos caracterizam estes sedimentos como imaturos.

**Aluviões (Qha):** compreendem as faixas alongadas, estreitas e sinuosas depositadas nas calhas dos rios, predominantemente orientadas segundo NE e NNE. A espessura das aluviões é de um modo geral pequena, via de regra oscilando entre 1 a 5 metros. Constituem argilas e areias argilosas ou siltes areno-argilosos de granulação fina, nas margens do Riacho do Meio, formando terraços aluvionares, e areias de granulação média a grossa, com concentrações de cascalhos, no leito.

### 3.3.1.2 – Geologia Local

A área em estudo está inserida geologicamente na unidade litoestratigráfica da Unidade sem Denominação - PX (incluindo rochas PXtsq e PI(B), e PSy, com predominância de ocorrências de rochas gnaissicas e migmatíticas na ombreira direita, orientadas preferencialmente segundo NE-SW e não são visíveis os afloramentos na ombreira esquerda, e solo de alteração dos granitóides e/ou granodioritos, classificada como sendo uma argila de coloração alaranjada e avermelhada, inconsolidadas, ao longo do eixo da ombreira esquerda.

Os depósitos aluvionares se concentram nas margens e nos leitos dos rios em forma de sedimentos inconsolidados formados por depósitos espessos de areia e cascalho em grandes quantidades e porções silto-arenosas, apresentando tonalidades desde cinza clara a escura. Nesta faixa os sedimentos inconsolidados atingem espessuras que vão de 1,00m a 4,00m de profundidade. Ocorrem terraços marginais

inundáveis, numa faixa de aproximadamente 100m de largura, do lado direito, margeando a calha do riacho principal. Na calha do riacho, margem direita, a aproximadamente 50m do eixo, observou-se a ocorrência de granitóide de granulometria média a grosseira, coloração pouco avermelhada sobrepondo rochas do Complexo Lavras da Mangabeira (micaxistos).

A drenagem formada pelos rios de pequeno curso e regime regular é definida no padrão paralelo, condicionado à estruturação das rochas cristalinas. No local do barramento em estudo, o vale entalhado pelo Riacho do Meio é aberto, com suave elevação na ombreira esquerda e com elevação acentuada na ombreira direita, onde as cotas máximas chegam a 335m, em relação ao nível do mar.

Na área reservada para implantação do vertedouro, não foram encontrados afloramentos rochosos. Entretanto, os testemunhos de sondagem mostraram que o maciço rochoso é constituído por rochas pertencentes a unidade (PSy), granitóides e/ou granodiorítos, de coloração avermelhada, grã média a grosseira.

### 3.3.2 – Investigações Geotécnicas

No **Quadro N°3.3.1** são apresentados os resultados da investigação geotécnica realizada na Barragem Riacho do Meio.

<b>Quadro N°3.3.1.: Localização das Sondagens Executadas</b>			
<b>Furo</b>	<b>Local</b>	<b>Coordenadas UTM (SAD-69)</b>	
		<b>N (Y)</b>	<b>E (X)</b>
SP-01	Eixo da Barragem	9.242.463,390	473.356,750
SP-02	Eixo da Barragem	9.242.425,730	473.370,480
SPP-03	Eixo da Barragem	9.242.181,430	473.459,450
SPP-04	Eixo da Barragem	9.242.143,840	473.473,140
SP-05	40,00m p/ Montante (Eixo da Barragem)	9.242.318,360	473.367,020
SP-06	40,00m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.345,750	473.442,190
SP-07	40,00m p/ Montante (Eixo da Barragem)	9.242.280,770	473.380,720
SP-08	40,00m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.308,110	473.455,900
SP-09	40,00m p/ Montante (Eixo da Barragem)	9.242.243,140	473.394,390
SP-10	40,00m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.270,510	473.469,560
SP-11	40,00m p/ Montante (Eixo da Barragem)	9.242.205,500	473.408,100

<b>Quadro N°3.3.1.: Locação das Sondagens Executadas</b>			
<b>Furo</b>	<b>Local</b>	<b>Coordenadas UTM (SAD-69)</b>	
		<b>N (Y)</b>	<b>E (X)</b>
SP-12	40,00m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.232,890	473.483,270
SP-601	77,42m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.471,050	473.436,360
SP-602	77,36m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.565,480	473.401,890
SP-603	226,67m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.612,520	473.543,660
SP-604	209,00m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.514,000	473.560,830
SP-605	336,48m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.495,490	473.703,170
SP-606	388,84m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.593,460	473.723,220
SP-607	50,00m Lado Esquerdo (Eixo do Vertedouro)	9.242.557,860	473.036,370
SP-608	50,00m Lado Esquerdo (Eixo do Vertedouro)	9.242.647,080	472.991,200
SP-609	50,00m Lado Esquerdo (Eixo do Vertedouro)	9.242.836,800	473.365,910
SP-610	50,00m Lado Esquerdo (Eixo do Vertedouro)	9.242.747,580	473.411,080
SP-611	50,00m Lado Esquerdo (Eixo do Vertedouro)	9.242.944,810	473.579,220
SP-612	50,00m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.855,590	473.624,390
SP-613	50,00m Lado Esquerdo (Eixo do Vertedouro)	9.242.962,360	473.844,080
SP-614	50,00m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.863,900	473.826,610
SM-01	Eixo da Barragem	9.242.369,360	473.391,020
SM-02	Eixo da Barragem	9.242.331,770	473.404,710
SM-03	Eixo da Barragem	9.242.294,190	473.418,400
SM-04	Eixo da Barragem	9.242.256,590	473.432,060
SM-05	Eixo da Barragem	9.242.219,010	473.445,750
SM-06	Eixo da Barragem	9.242.200,220	473.452,600
SM-07	37,63m Lado Esquerdo (Eixo do Vertedouro)	9.242.740,500	473.203,080
SM-08	61,39m (Eixo do Vertedouro)	9.242.7002,650	473.235,400
SM-09	61,39m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.645,860	473.235,400

<b>Quadro Nº3.3.1.: Locação das Sondagens Executadas</b>			
<b>Furo</b>	<b>Local</b>	<b>Coordenadas UTM (SAD-69)</b>	
		<b>N (Y)</b>	<b>E (X)</b>
SM-10	13,11m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.728,500	473.291,720
SM-11	40,95m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.793,130	473.480,990
SM-101	14,72m (Eixo do Vertedouro)	9.242.663,870	473.102,450
SM-102	6,37m Lado Esquerdo (Eixo do Vertedouro)	9.242.683,260	473.159,230
SM-103	48,39m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.713,030	473.339,270
SM-104	65,09m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.736,340	473.452,830
SM-105	100,37m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.736,340	473.500,380
SM-106	Eixo da Barragem	9.242.312,980	473.411,550
SM-107	Eixo da Barragem	9.242.275,390	473.425,220
SM-108	Eixo da Barragem	9.242.237,800	473.438,910
SM-201	36,59m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.612,550	473.114,690
SM-202	48,41m Lado Direito (Eixo do Vertedouro)	9.242.640,030	473.195,130
SM-203	Eixo do Vertedouro	9.242.682,610	473.180,590
SM-204	40,70m Lado Esquerdo (Eixo do Vertedouro)	9.242.725,190	473.166,040
SM-205	85,27m (Eixo do Vertedouro)	9.242.767,780	473.151,500
SM-206	60,00m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.201,970	473.515,820
SM-501	29,96m p/ Montante (Eixo da Barragem)	9.242.152,550	473.438,080
SM-502	50,00m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.179,920	473.513,210
SM-503	77,38m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.518,040	473.419,20
SM-504	217,86m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.563,270	473.552,240
SM-505	362,66m p/ Jusante (Eixo da Barragem)	9.242.544,470	473.713,200
SM-506	Eixo do Vertedouro	9.242.792,460	473.388,360
SM-507	Eixo do Vertedouro	9.242.900,470	473.601,670
SM-508	Eixo do Vertedouro	9.242.913,130	473.835,340

A seguir serão apresentados os resultados da investigação geotécnica realizada.

### 3.3.2.1 – Descrição das Sondagens Executadas

A investigação geotécnica iniciou-se com a execução de quatro tipos de sondagens, a saber:

SPP: Sondagem a Pá e Picareta;

SP: Sondagem a Percussão;

SM: Sondagem Mista (iniciada a percussão e seguida em rotativa).

Todas as sondagens mencionadas acima seguiram as normas da ABNT.

A locação, bem como as cotas topográficas das bocas de furos foram fornecidas a partir dos estudos topográficos de campo.

### 3.3.2.2 – Sondagens a Pá e Picareta

Os poços de inspeção localizados no eixo barrável foram realizados nos pontos onde haviam sido projetados furos de percussão e a ocorrência de rocha aflorando não permitiu a execução deste tipo de sondagem.

Todos os poços foram perfurados por meio de escavação manual com dimensões de 1,00m longitudinalmente por 1,00m transversalmente.

### 3.3.2.3 – Sondagens a Percussão

O objetivo básico destas sondagens foi o de definir a espessura dos depósitos aluvionais sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT”(STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado.

O critério de paralisação das sondagens foi o de lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para 10 minutos de lavagem), ou a profundidade de projeto, no caso dos furos de percussão simples. Todas as sondagens foram realizadas com diâmetro de 2 ½” (duas e meia polegadas).

### 3.3.2.4 – Sondagens Mistas

Sondagem mista é aquela executada por sondagem a percussão em todo os tipos de terreno penetráveis por esse processo, e executadas por meio de sondagem rotativa nos materiais impenetráveis a percussão.

Iniciou-se os furos com sondagem percussiva no diâmetro de 2 ½” (duas e meia polegadas), no qual foi definida a espessura de solos sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT”. Prosseguiu-se com sonda rotativa, na qual usava-se a sonda MACH 920 de avanço manual, acoplada a um calibrador e a um barrilete duplo de mola, tipo NX para recuperação do testemunho, do qual obteve-se informações da alteração, fraturamente e estanqueidade da rocha.

### 3.3.2.5 – Ensaio In Situ

#### 3.3.2.5.1 – Ensaio de Permeabilidade com Carga Constante

Nos ensaios de Permeabilidade “in situ” com carga constante, mantém-se constante a vazão até que as condições de fluxo se estabilizem e a carga (altura da água no furo), se torne constante. Nestas condições, medem-se a vazão e a carga, para aplicação das fórmulas apropriadas.

Este tipo de ensaio pode ser usado para solos que se situem abaixo ou acima do nível estático da água (NA).

Foram executados 14 (quatorze) ensaios.

Os dados gerais destes ensaios encontram-se no **Quadro N°3.3.2**.

QUADRO N°3.3.2 – ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE		
SONDAGEM	N° DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM - 01	01 (um)	0,50 a 3,00
SM - 02	01 (um)	0,50 a 3,00
SM - 03	05 (cinco)	0,50 a 13,77
SM - 04	06 (seis)	0,50 a 18,00
SM - 06	01 (um)	0,50 a 1,74

#### 3.3.2.5.2 – Ensaio de Perda D’Água Específica

Ensaio de perda d’água sob pressão em furos de sondagem têm por objetivo a determinação da permeabilidade e do comportamento dos maciços rochosos frente à percolação da água através de suas fissuras.

Consiste na injeção de água sob pressão em um trecho do furo de sondagem e na medida da quantidade de água que se infiltra no maciço, durante um certo tempo, sob uma dada pressão de injeção. O ensaio é realizado em 5 (cinco) estágios de pressão, sendo os 1º e o 5º estágios sob uma pressão mínima; os 2º e 4º estágios sob

uma pressão intermediária; e o 3º estágio sob uma pressão máxima, conforme a seguir:

1º e 5º estágios – pressão de 0,10kg/cm<sup>2</sup>;

2º e 4º estágios – pressão intermediária =  $P_{m\acute{a}x}/2$ ;

3º estágio – pressão máxima =  $P_{m\acute{a}x}$ .

Os trechos ensaiados, sempre que possível foram de 3,00 m.

O **Quadro Nº3.3.3** mostra os dados técnicos gerais dos ensaios de perda d'água sob pressão.

QUADRO Nº3.3.3 – ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA		
SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM – 01	04 (quatro)	3,11 À 15,56
SM - 02	04 (quatro)	6,73 À 18,73
SM – 03	05 (cinco)	13,77 À 28,77
SM – 04	05 (cinco)	1 8,69 À 33,99
SM – 05	06 (seis)	16,24 À 33,24
SM – 06	05 (cinco)	1,74 À 13,74

#### 3.3.2.6 – Pesquisa de Jazidas

Os trabalhos referentes à pesquisa de materiais a serem utilizados nas obras tiveram seu início a partir de um reconhecimento em campo, de modo a localizar e conferir os empréstimos existentes na área. Deve-se salientar que os estudos básicos existentes nortearam os trabalhos. Neste momento, levou-se em considerações duas variáveis importantes: qualidade e volume dos materiais detectados.

Assim sendo, identificou-se os seguintes empréstimos de materiais de construção: duas jazidas de solo, denominadas de J-01 e J-02, um areal denominado de A-01 e uma pedreira denominada de P-01.

##### 3.3.2.6.1 – Jazidas de Solo (Empréstimos 1 e 2)

Para que houvesse uma boa abrangência nos estudos dos empréstimos, lançou-se uma malha quadrática com 100,00 m de lado, onde procedeu-se à abertura de poços a pá e picareta para coleta de materiais e posterior realização de ensaios de laboratório.

Dentro de um afastamento econômico adequado do local da obra em estudo, foram identificados e caracterizados os materiais das áreas de empréstimo.

Em cada poço de inspeção foi feita uma descrição dos materiais, identificando suas características e quantificando suas potencialidades e distância média de transporte, conforme já comentado.

- Granulometria (com e sem sedimentação);
- Limites de “Atterberg”;
- Ensaio de Compactação (Proctor Normal);
- Umidade Natural;
- Peso Específico Real;
- Permeabilidade com carga variável;
- Cisalhamento direto lento.

A seguir resume-se as características das áreas potencialmente exploráveis:

– **DADOS GERAIS DA JAZIDA J-1.**

Área total estudada	170.000,00m <sup>2</sup>
Número de furos realizados	28 und.
Profundidade média dos furos	1,91 m
Volume total de material	324,700,00m <sup>3</sup>
Camada média de expurgo	0,10 m
Espessura média útil	1,81 m
Volume de material utilizável	307,700,00m <sup>3</sup>
Distância do eixo barrável	0,00m (Jazida no Eixo)

– **DADOS GERAIS DA JAZIDA J-2.**

Área total estudada	215.000,00m <sup>2</sup>
---------------------	--------------------------

Número de furos realizados	36 und.
Profundidade média dos furos	1,50 m
Volume total de material	322.500,00m <sup>3</sup>
Camada média de expurgo	0,10 m
Espessura média útil	1,40 m
Volume de material utilizável	301.000,00m <sup>3</sup>
Distância do eixo barrável .....	0,78 km

#### 3.3.2.6.2 – Jazidas de Areia (Areal 1)

Da mesma forma com o ocorrido na jazida terrosa, o areal foi identificado e posteriormente estudado, onde se lançou uma malha de sondagens, ao longo do depósito.

Amostras deste material também foram colhidas e encaminhadas ao laboratório para ensaios.

A jazida em questão encontra-se ao longo do leito do rio.

#### DADOS GERAIS DO AREAL

Distância do areial ao eixo	0,20 km;
Extensão	2.000,00 m
Largura	15,00m
ALTURA A EXPLORAR	0,80M
Volume explorável .....	24.000,00m <sup>3</sup>

#### 3.3.2.6.3 – Pedreira

A pedreira encontrada localiza-se a jusante do eixo barrável.

#### CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PEDREIRA

Extensão	150,00m
Largura	100,00m

Altura a explorar	3,00 m
Volume explorável	45.000,00m <sup>3</sup>
Distância para o eixo	6,10 km
Classificação .....	Rocha Granítica

### 3.3.2.7 – Ensaio de Laboratório

Todos os ensaios de laboratório seguiram o preconizado pelas normas técnicas da ABNT.

De modo a facilitar a visualização, elaborou-se quadro resumos referente a cada ensaio, os quais são apresentados a seguir.

#### Jazida de Solos:

Foram coletadas 30 (trinta) amostras para que fossem submetidas a ensaios normais de caracterização, constando de determinação dos Limites de Atterberg (LL e LP), Granulometria por peneiramento e com sedimentação, peso específico, Compactação Proctor Normal, Permeabilidade com carga variável e Cisalhamento Direto Lento.

Os ensaios de Granulometria com Sedimentação, peso específico, Permeabilidade com Carga Variável e Cisalhamento Direto Lento não foram executados para todas as amostras coletadas.

#### Jazida de Areia:

Foram 08 (oito) as amostras coletadas na jazida de areia A.1 e submetidas a Análise Granulométrica por Peneiramento e Permeabilidade com Carga Constante.

#### Pedreira

Nas pedreiras P.1 foram realizados 03 (três) ensaios tipo “Los Angeles”.

## 3.4 – HIDROLOGIA

Os estudos hidrológicos consistiram na caracterização física da bacia hidrográfica, no estudo de cheias, nas curvas de regularização do reservatório e no dimensionamento do vertedouro.

### **3.4.1 – Característica Física da Bacia Hidrográfica**

A bacia hidrográfica da Barragem Riacho do Meio possui as seguintes características físicas:

Bacia Hidrográfica.....	91,21km <sup>2</sup> ;
Perímetro da Bacia Hidrográfica.....	41,91km;
Declividade Média da Bacia Hidrográfica.....	16,67m/km;
Comprimento do Rio Principal.....	18,00km;
Fator de Compacidade.....	1,24;
Fator de Forma.....	0,28;
Tempo de Concentração.....	2,98s;

### **3.4.2 – Estudo de Cheias**

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

O estudo da cheia de projeto é de fundamental importância para a segurança e economia da barragem, podendo o hidrograma de projeto estar baseado em:

- PMP (precipitação máxima provável) para projetos de importantes obras hidráulicas;
- Cheia padrão para obras hidráulicas de risco intermediário;
- Precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência.

Em barragens pequenas, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso. Foram calculadas aqui as cheias de projeto de 1000 e 10000 anos. O intervalo de computação dos hidrogramas de cheia foi 5 minutos.

#### **3.4.2.1 – Metodologia**

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que se utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não

podem ser aplicados pela escassez de dados ou, ainda, sua inexistência. Esta falta de dados dos eventos na bacia a ser estudada indicaram a escolha de métodos de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada.

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 na bacia e, por fim, o seu amortecimento no vertedouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1.

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

O modelo HEC-1 permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (*overland flow*) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso da bacia do Riacho do Meio foi adotado o seguinte:

- Método Curva-Número (*Soil Conservation Service*) na determinação da chuva efetiva;
- Método do *Soil Conservation Service* na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (*Overland flow*);

#### 3.4.2.2 – Precipitação

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

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtidas através do método de Taborga. Na **Figura 3.4.1** apresenta a curva intensidade-duração-freqüência para a bacia de estudo.

QUADRO 3.4.1 – CHUVAS REDUZIDA								
DURAÇÃO	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 50	21,5	41,6	72,1	90,6	101,4	119,9	138,5	157,0
P(mm) – TR 100	23,5	45,4	78,6	98,8	110,7	130,9	151,1	171,3

QUADRO 3.4.1 – CHUVAS REDUZIDA								
DURAÇÃO	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 1000	29,9	56,7	97,2	123,7	139,2	165,6	192,1	218,5
P (mm) – TR 10000	36,4	67,5	114,5	147,5	166,7	199,7	232,7	265,6

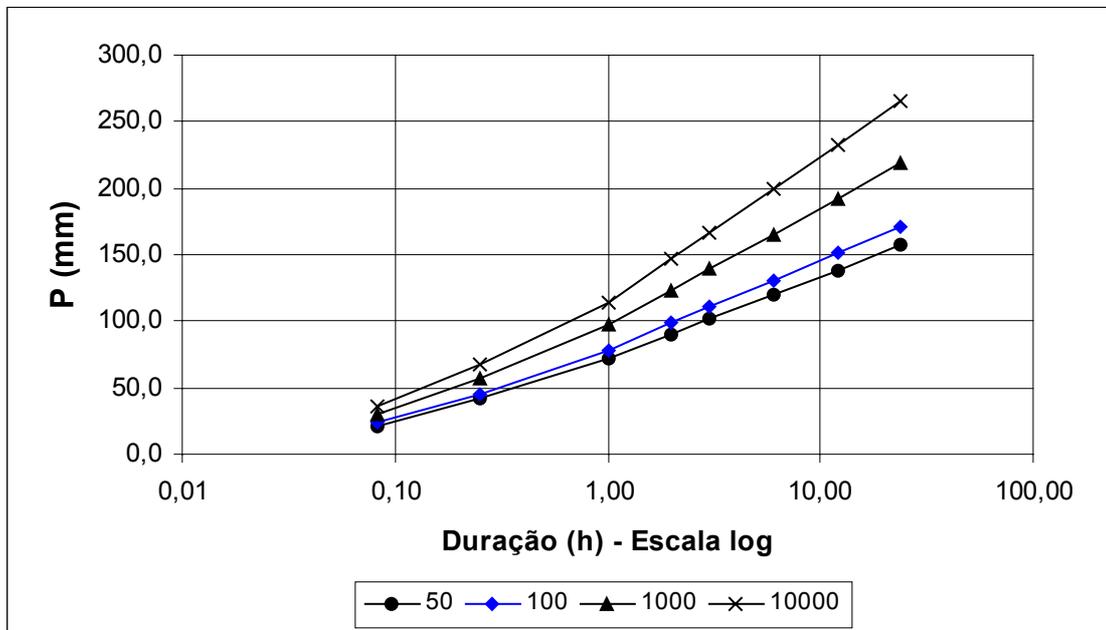


FIGURA 6.1 – CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA – CHUVA REDUZIDA

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

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

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

Onde  $P_n$  é a precipitação para a duração de n minutos. Adotou-se um hietograma de projeto com duração de 24 horas.

### 3.4.2.3 – Precipitação Efetiva

O modelo HEC-1 refere-se a interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração como perdas de precipitação, ou seja, a parcela da

precipitação que não contribui para gerar escoamento é considerada perda, sendo o restante, considerado precipitação efetiva.

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

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

O método Curva Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente. Para a bacia do Riacho do Meio foi adotado um CN = 82 com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

A equação de escoamento do SCS é dada por

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

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

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

$$I_a = 0,20.S$$

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

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

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

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

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

CONDIÇÕES SECAS

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

CONDIÇÕES ÚMIDAS

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

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

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

A – Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. solos arenosos profundos com pouco silte e argilla.

B – Solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundo que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.

C – Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.

D – Solos contendo argilas expansivas, pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

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

### 3.4.2.4 – Hidrograma Unitário – SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2.5 e 1000 km<sup>2</sup>, e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T<sub>LAG</sub>. Este parâmetro, T<sub>LAG</sub>, é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

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

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

Onde T<sub>C</sub> = tempo de concentração em minutos; L = comprimento do maior talvegue em km; ΔH = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. Logo, para a bacia do Riacho do Meio tem-se:

$$L = 18,0 \text{ km} \quad \Delta H = 300 \text{ m} \quad S = 16,67 \text{ m/km}$$

O que resulta T<sub>C</sub> = 2,98 h; T<sub>LAG</sub> = 1,79 h para a Barragem Riacho do Meio.

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

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

Onde Q<sub>p</sub> = é a vazão de pico (m<sup>3</sup>/s), t<sub>p</sub> = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km<sup>2</sup> e Δt = o intervalo de cálculo.

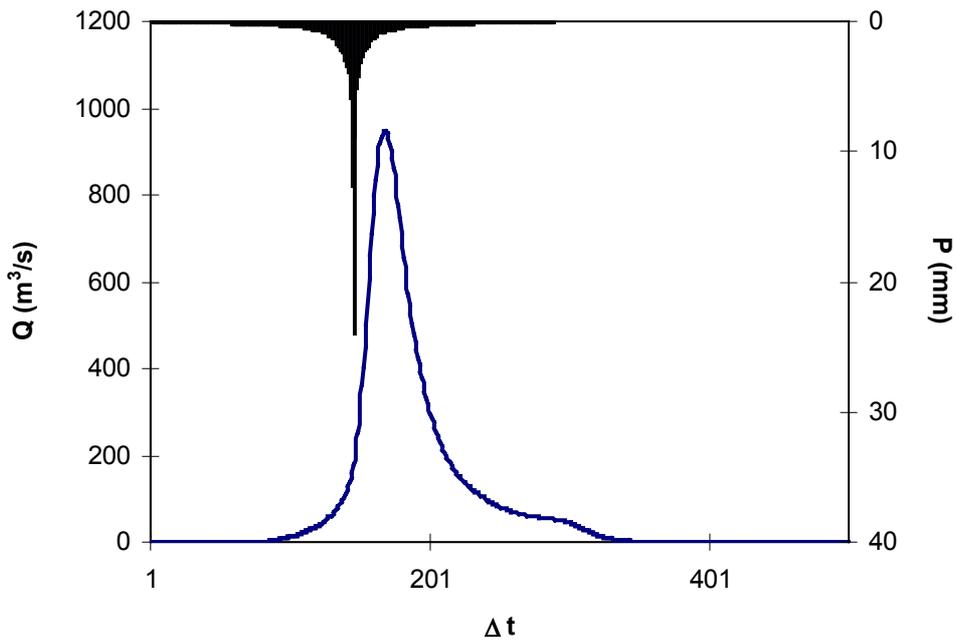
Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-1 utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseado na relação Δt = 0.20 t<sub>p</sub>, não devendo exceder 0.25 t<sub>p</sub>. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$t_{lag} = 0.60 T_c \quad \text{e} \quad 1.7 t_p = \Delta t + T_c$$

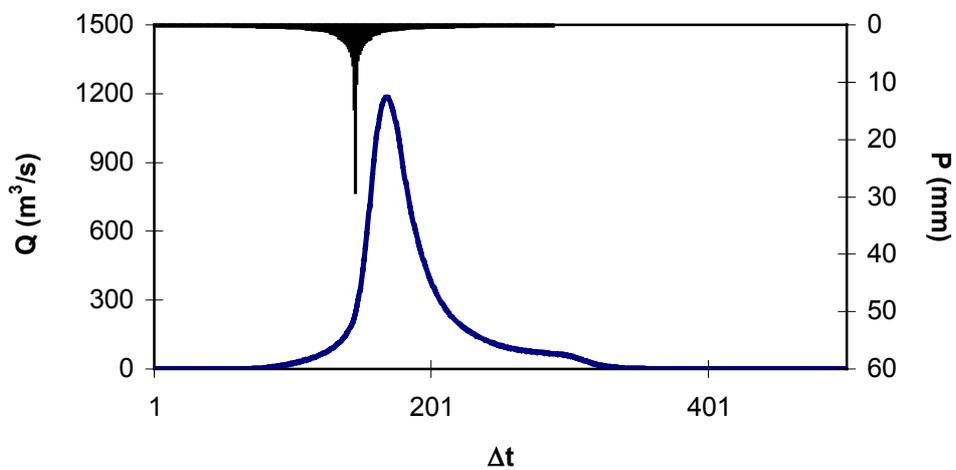
Onde T<sub>C</sub> = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-1 sugere que Δt ≤ 0.29 T<sub>LAG</sub>. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessária uma

estimativa do tempo de concentração da bacia. Este tempo de concentração foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich.

A **Figura 3.4.2** abaixo apresenta o hidrograma de projeto e o hidrograma afluente a barragem Riacho do Meio obtido através do uso do modelo HEC, conforme metodologia acima . A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi 947.0 m<sup>3</sup>/s. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de 1183.0 m<sup>3</sup>/s (**Figura 3.4.3**).



**FIGURA 3.4.2 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO RIACHO DO MEIO (TR = 10000 ANOS)**



**FIGURA 3.4.3 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO RIACHO DO MEIO  
(TR = 10000 ANOS)**

### 3.4.3 – Curvas de Regulação do Reservatório

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

1. Análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Riacho do Meio;
2. Estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Riacho do Meio;

O traçado das curvas de regulação inclui: volumes evaporado (E), liberado (M) e sangrado (S) versus capacidade (K) e  $dM/dK$  versus K.

#### 3.4.3.1 – Metodologia

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado dois métodos, a saber:

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

#### 3.4.3.2 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

A equação do balanço hídrico de um reservatório pode ser dada por

$$Z_{t+1} = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M - S_t$$

$$S_t = \max(B - K; 0)$$

Com

$$B = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M$$

Onde

$Z_t$  = volume armazenado no início do ano t;

$I_t$  = volume afluente ao reservatório durante o ano t;

$A_t$  = área do espelho d'água no início do ano t;

E = lâmina evaporada durante o ano t, suposta constante ao longo dos anos;

K = capacidade do reservatório;

$S_t$  = volume perdido por sangria durante o ano t.

Representando-se a bacia hidráulica por

$$Z(h) = \alpha \cdot h^3 \quad \text{e} \quad A(h) = 3 \cdot \alpha \cdot h^2 ,$$

h - altura d'água     $\alpha$  - fator de forma (obtido por regressão entre z e  $h^3$ )

Supondo um modelo mutuamente exclusivo com volume contínuo e uma série de vazões afluentes com uma extensão de 2000 anos seguindo uma distribuição Gamma de 2 parâmetros, pode-se resolver a equação de balanço hídrico segundo o processo descrito por CAMPOS (1990) [CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR. UFC. ], a saber:

1. Estabelece-se um valor inicial para a retirada M;
2. Considera-se um volume inicial igual  $\text{MIN}(0.5 K; 0.5 \mu)$ ;
3. Calcula-se

$$Z_U = Z_t + I_t \quad \text{p/ } Z_t + I_t \leq K$$

$$Z_U = K \quad \text{caso contrário}$$

$$D_S = \text{MAX}(Z_t + I_t - K; 0)$$

Onde  $Z_U$  é o volume armazenado no final da estação e  $D_S$  o volume sangrado no ano t.

4. Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por:

a) divide-se M e E em L partes (no caso  $L=6$ );

b) retirada da reserva, se disponível, de  $M/L$

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_2 = Z_1 - M / L \quad \text{se} \quad Z_1 - M / L > Z_{MIN}$$

$$Z_2 = Z_{MIN} \quad \text{caso contrário (ANO FALHO)}$$

$$Z_{MIN} = \text{MAX}(0,05.K;0,20.\mu)$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_2 = \left( Z_2 / \alpha \right)^{1/3}$$

c) retirada da reserva, se disponível, de E/L

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_3 = h_2 - E / L \quad \text{se} \quad h_2 - E / L \geq 0$$

$$h_3 = 0 \quad \text{caso contrário}$$

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_3 = \alpha . h_3^3$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

d) retorna-se a b) até completar as L fases da integração.

5. Prossegue-se com os passos 3 e 4 até que se complete os 2000 anos da série gerada, totalizando os volumes evaporado, sangrado e liberado;

6. Concluído os 2000 anos, verifica-se se a frequência de falha está entre 9,95 e 10,05%, ou se o erro em retirada é menor do que 0,5 unidade. Caso afirmativo aceita-se o valor de M, caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1.

### 3.4.3.3 – O Diagrama Triangular de Regularização

O método do Diagrama Triangular baseia-se no balanço de massas de um

reservatório para um período longo:

$$\sum I = \sum M + \sum S + \sum E + Z$$

Onde  $\sum I$ ,  $\sum M$ ,  $\sum S$ ,  $\sum E$  representam as somas dos volumes afluente, retirado, sangrado e evaporado, enquanto Z representa a diferença entre os volumes final e inicial do reservatório. Dividindo-se a equação de balanço de massas acima por N, N suficientemente grande, obtém-se:

$$\mu = E \{M\} + E \{S\} + E \{E\}$$

Onde  $E \{.\}$  representa o operador valor esperado, e  $\mu$  o deflúvio afluente médio. Pela última equação verifica-se que o volume afluente divide-se em três componentes, o que sugere o uso do Diagrama Triangular para estabelecer como esta divisão se processa em função dos parâmetros estatísticos dos deflúvios e das características do reservatório (CAMPOS, 1990).

#### 3.4.3.4 – Resultados

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

- lâmina média escoada: 68 mm
- volume afluente médio escoado ( $\mu$ ): 6.20 hm<sup>3</sup>/ano

O coeficiente de variação de CV = 0.76 foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995).

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

$$E_L = 0.85 \cdot (161.3+224.8+268.7+292.8+262.9+223.7+216.1)$$

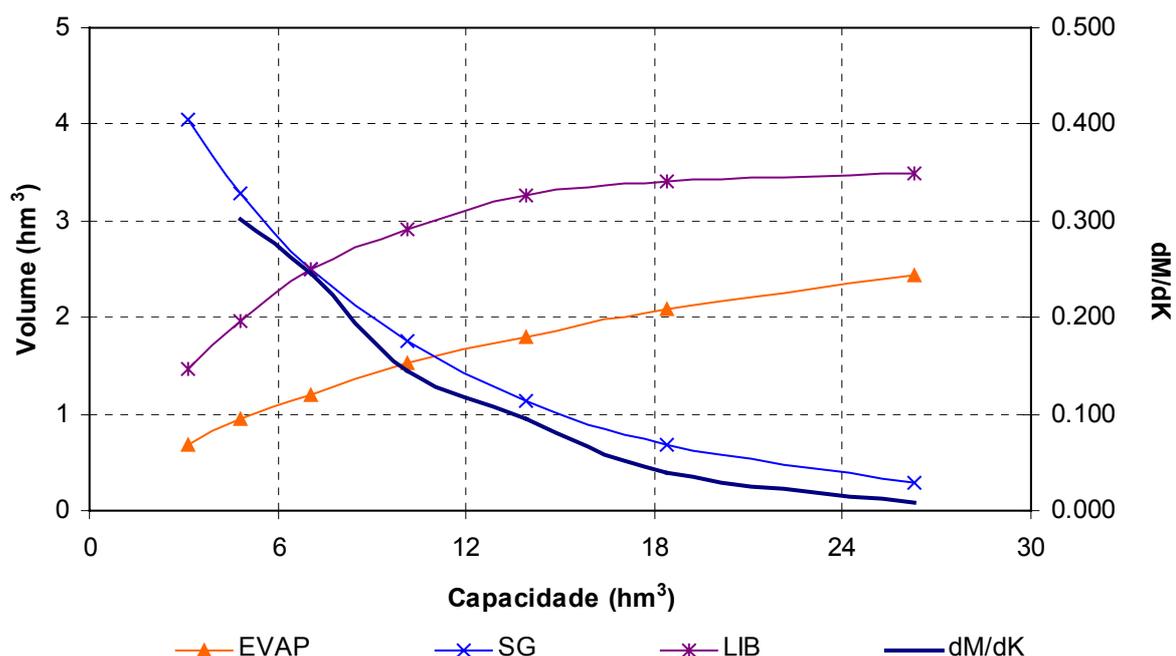
$$= 1402.7 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$\alpha = 1682,7$$

$$f_E = 3 \alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0.27$$

No **Quadro 3.4.2** apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de  $f_k$  (fator de capacidade =  $K/\mu$ ). A **Figura 3.4.4** apresenta as curvas de regulação para o reservatório Riacho do Meio, que nada mais é que o gráfico dos valores apresentados no **Quadro 3.4.2**.

QUADRO 3.4.2 – ESTUDO INCREMENTAL DE CAPACIDADES DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO												
COTA (m)	K (hm <sup>3</sup> )	fk=K/ m	%LIB	LIB (hm <sup>3</sup> /ano)	%EV	EV (hm <sup>3</sup> /ano)	%SG	SG (hm <sup>3</sup> /ano)	dM/dK	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	M90 (hm <sup>3</sup> /ano)	
310	3,1	0,50	23,7	1,470	11,1	0,687	65,2	4,042	-	0,048	1,516	
312	4,8	0,78	31,8	1,971	15,2	0,942	53,0	3,285	0,30	0,064	2,031	
314	7,0	1,14	40,2	2,491	19,5	1,207	40,3	2,496	0,25	0,082	2,578	
316	10,2	1,64	47,2	2,923	24,6	1,523	28,2	1,747	0,15	0,096	3,031	
318	13,9	2,25	52,6	3,257	29,1	1,806	18,3	1,133	0,10	0,108	3,391	
<b>320</b>	<b>18,4</b>	<b>2,96</b>	<b>55,2</b>	<b>3,419</b>	<b>33,7</b>	<b>2,087</b>	<b>11,1</b>	<b>0,691</b>	<b>0,04</b>	<b>0,113</b>	<b>3,563</b>	
323	26,3	4,24	56,2	3,487	39,2	2,432	4,5	0,282	0,01	0,115	3,625	



**FIGURA 3.4.4 – CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO**

A **Figura 3.4.4** e os dados apresentados no **Quadro 3.4.2** sugerem que os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento decaem rapidamente. Foi adotado o volume em torno de 18,4 hm<sup>3</sup>, correspondente à cota 320 m. Para esta capacidade o reservatório regulariza 55,2% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 3,419 hm<sup>3</sup>/ano, conforme a

resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,113 m<sup>3</sup>/s. O **Quadro 3.4.3** mostra como o volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG). Os resultados obtidos com o método do Diagrama Triangular de Regularização (**Figura 3.4.5**) confirmam os valores obtidos pela solução direta do balanço hídrico.

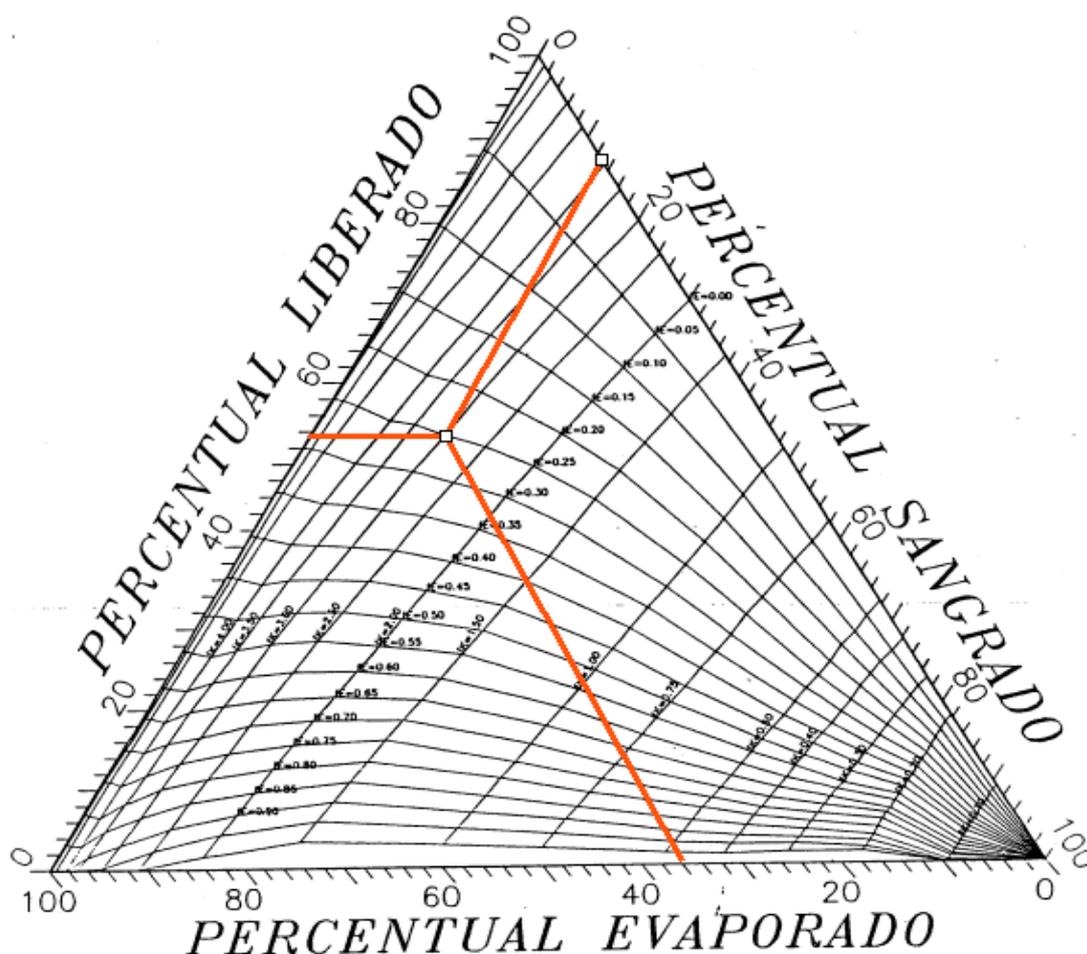
QUADRO 3.4.3 – DISTRIBUIÇÃO DO VOLUME AFLUENTE E QR (90%) PARA O RES. RIACHO DO MEIO			
EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m3/s)
3,419 – 55,2%	0,691 – 11,1%	2,087 – 33,7%	0,113

EV - Volume Evaporado (hm<sup>3</sup>/ano)

SG - Volume Sangrado (hm<sup>3</sup>/ano)

RG - Volume Regularizado (hm<sup>3</sup>/ano)

Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m<sup>3</sup>/s)



**FIGURA 3.4.5 – DIAGRAMA TRIANGULAR DE REGULARIZAÇÃO APLICADO A BARRAGEM RIACHO DO MEIO.**

### 3.4.4 – Dimensionamento do Vertedouro

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

No dimensionamento do vertedouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1.000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação, e será determinada a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10.000 anos, para garantir o não galgamento nesta cheia.

Dentre destes princípios, apresenta-se neste capítulo o dimensionamento do vertedouro.

#### 3.4.4.1 – Propagação da Cheia no Reservatório

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

A equação discretizada da continuidade é dada por

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+1}}{2} \quad (1)$$

Onde  $I_t$  e  $I_{t+1}$  = vazões afluentes ao reservatório em  $t$  e  $t+1$ ;  $Q_t$  e  $Q_{t+1}$  = vazões de saída ao reservatório em  $t$  e  $t+1$ ;  $S_t$  e  $S_{t+1}$  = armazenamento em  $t$  e  $t+1$ ;  $\Delta t$  = intervalo de tempo. As incógnitas  $Q_{t+1}$  e  $S_{t+1}$  podem ser colocadas em um mesmo lado, resultando em:

$$Q_{t+1} + 2 \cdot \frac{S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \cdot \frac{S_t}{\Delta t} \quad (2)$$

Conhecendo-se a função  $Q=f(S)$ , constroi-se uma função  $Q=h(Q+2S/\Delta t)$ , resultando no seguinte processo de cálculo:

Determinação do volume inicial  $S_0$  (conforme objetivo do estudo), e a partir deste, determina-se  $Q_0$ ;

- Calcular o termo direito da equação 2, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS;

- Com este valor  $(Q_{t+1} + 2.S_{t+1}/ \Delta t)$  é possível obter  $Q_{t+1}$  através de  $Q=h(Q+2S/\Delta t)$  e  $S_{t+1}$  através de  $S_{t+1} = f-1(Q_{t+1})$ ;
- Repete-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo.

Foi analisado vertedouro de perfil Creager com coeficiente de descarga 2.1, ficando sua equação característica:

$$Q = 2.1 L (Z - Z_w)^{1.5}.$$

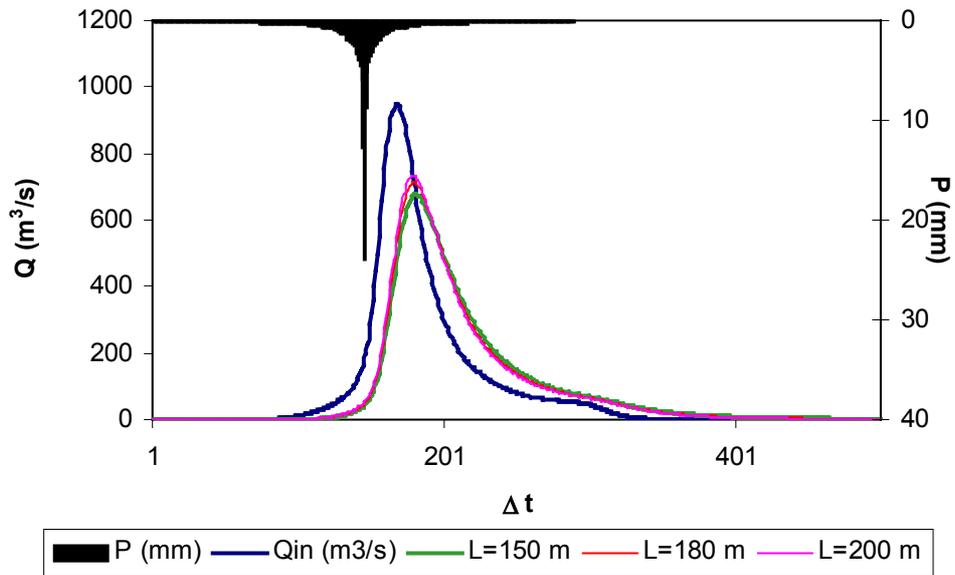
#### 3.4.4.2 – Resultados

Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=320 m), elaborou-se o estudo de laminação para a cheia de 1.000 anos, para dimensionamento do vertedouro, e para a cheia de 10.000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem.

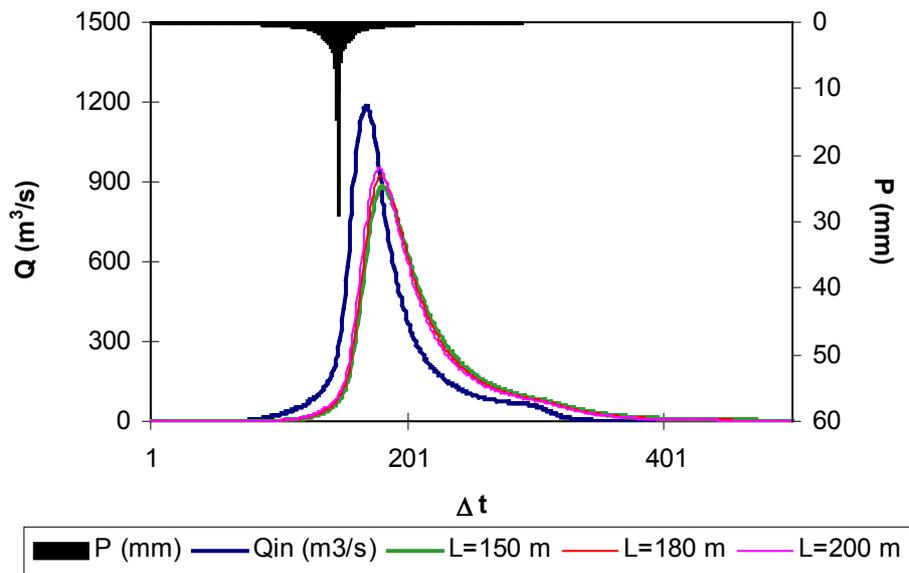
Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no **Quadro 3.4.3**, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A **Figura 3.4.6** abaixo mostra o hidrograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Riacho do Meio correspondente ao tempo de retorno  $Tr=1000$  anos para vertedouro em perfil Creager. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na **Figura 3.4.7**.

QUADRO 3.4.3 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA			
COTA(m)	COTA DE PICO(m)	LÂMINA(m)	$Q_{out}(m^3/s)$
<b>Tr = 1.000 anos - <math>Q_{in} = 947 m^3/s</math></b>			
<b>Perfil Creager: L = 150 m</b>			
320	321,70	1,70	678,0
<b>Perfil Creager: L = 180 m</b>			
320	321,50	1,50	714,0
<b>Perfil Creager: L = 200 m</b>			
320	321,50	1,50	735,0
<b>Tr = 10.000 anos - <math>Q_{in} = 1183,0 m^3/s</math></b>			
<b>Perfil Creager: L = 150 m</b>			
320	322,00	2,00	882,0
<b>Perfil Creager: L = 180 m</b>			
320	321,80	1,80	925,0
<b>Perfil Creager: L = 200 m</b>			
320	321,70	1,70	949,0

L = Largura do vertedouro Z<sub>w</sub> = cota da soleira do vertedouro  
 Q<sub>in</sub> = Vazão afluente ao reservatório Q<sub>out</sub> = Vazão de saída (vertedouro)



**FIGURA 3.4.6 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER)**



**FIGURA 3.4.7 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER)**

$$Q = 2.1 L (Z - Z_w)^{1.5}.$$

### 3.4.4.3 – Resultados para Chuva de Duração de Dois Dias

Como forma de complementar o projeto hidrológico da Barragem Riacho do Meio, foi realizado um estudo do dimensionamento do vertedouro para uma chuva de duração de 2 dias. Considerou-se um intervalo de tempo de 5 minutos. A metodologia para o cálculo foi a mesma descrita nos capítulos 6 e 8. Adicionalmente, novas simulações foram realizadas para larguras menores de vertedouros.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no **Quadro 3.4.4**, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos e uma duração de chuva de dois dias. A **Figura 3.4.8** abaixo mostra o hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Riacho do Meio correspondente ao tempo de retorno  $Tr=1000$  anos para vertedouro em perfil Creager. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na **Figura 3.4.9**.

É possível observar no **Quadro 3.4.4** que o hidrograma de projeto associado a uma chuva de duração de dois dias não apresenta diferenças significativas com relação ao hidrograma de projeto para chuva de duração 24 horas, conforme o **Quadro 3.4.3**.

<b>QUADRO 3.4.4 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA (DURAÇÃO DA CHUVA = 2 DIAS)</b>			
<b>COTA(m)</b>	<b>COTA DE PICO(m)</b>	<b>LÂMINA(m)</b>	<b>Q<sub>OUT</sub>(m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Tr = 1.000 anos - Q<sub>in</sub> = 954 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 90 m</b>			
320	322,1	2,1	570,0
<b>Perfil Creager: L = 120 m</b>			
320	321,9	1,9	637,0
<b>Perfil Creager: L = 150 m</b>			
320	321,7	1,7	686,0
<b>Perfil Creager: L = 180 m</b>			
320	321,5	1,5	722,0
<b>Perfil Creager: L = 200 m</b>			
320	321,5	1,5	743,0
<b>Tr = 10.000 anos - Q<sub>in</sub> = 1187,0 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 90 m</b>			
320	322,5	2,5	744,0
<b>Perfil Creager: L = 120 m</b>			
320	322,2	2,2	826,0
<b>Perfil Creager: L = 150 m</b>			

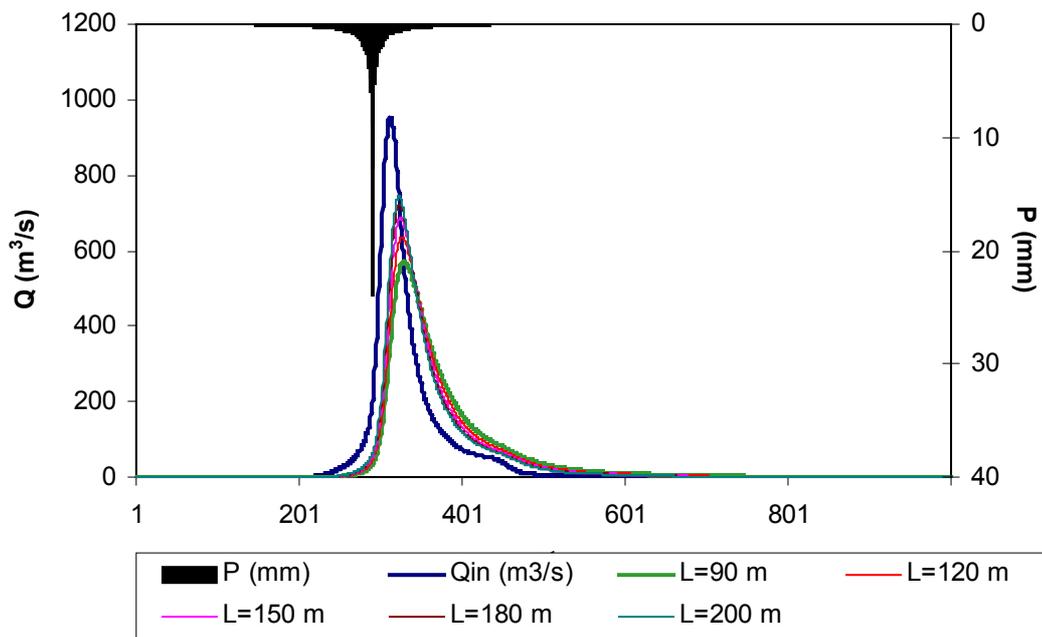
QUADRO 3.4.4 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA (DURAÇÃO DA CHUVA = 2 DIAS)			
320	322,0	2,0	887,0
<b>Perfil Creager: L = 180 m</b>			
320	321,8	1,8	930,0
<b>Perfil Creager: L = 200 m</b>			
320	321,7	1,7	954,0

L = Largura do vertedouro

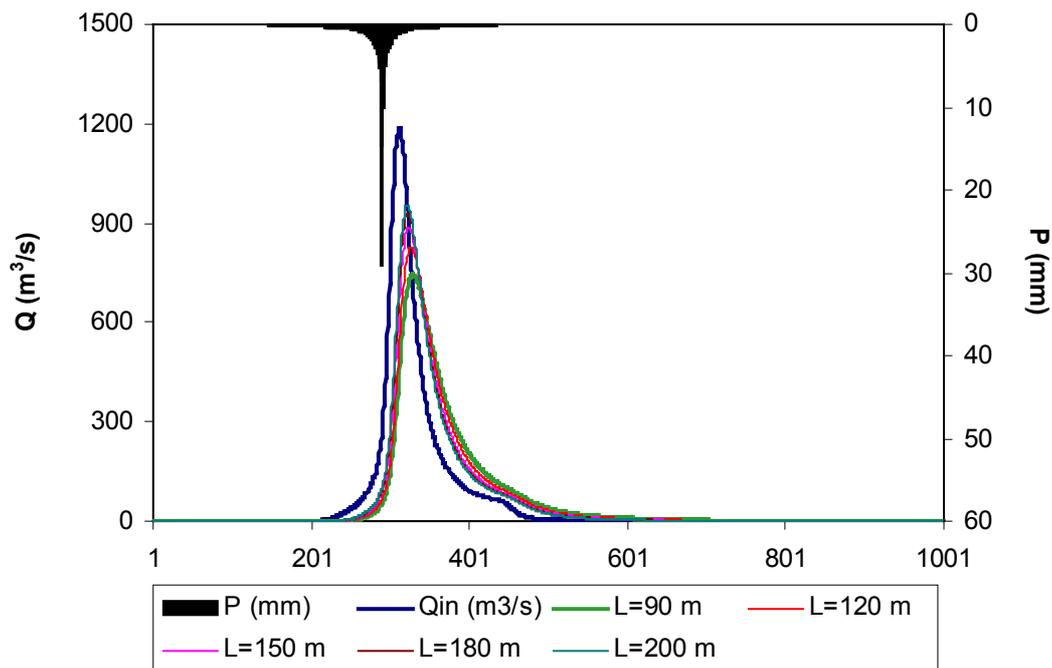
$Z_w$  = cota da soleira do vertedouro

$Q_{in}$  = Vazão afluente ao reservatório

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



**FIGURA 3.4.8 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAÍDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER, CHUVA = 2 DIAS)**



**FIGURA 3.4.9 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO RIACHO DO MEIO (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER, CHUVA = 2 DIAS)**

### 3.4.5 – Estudos Adicionais

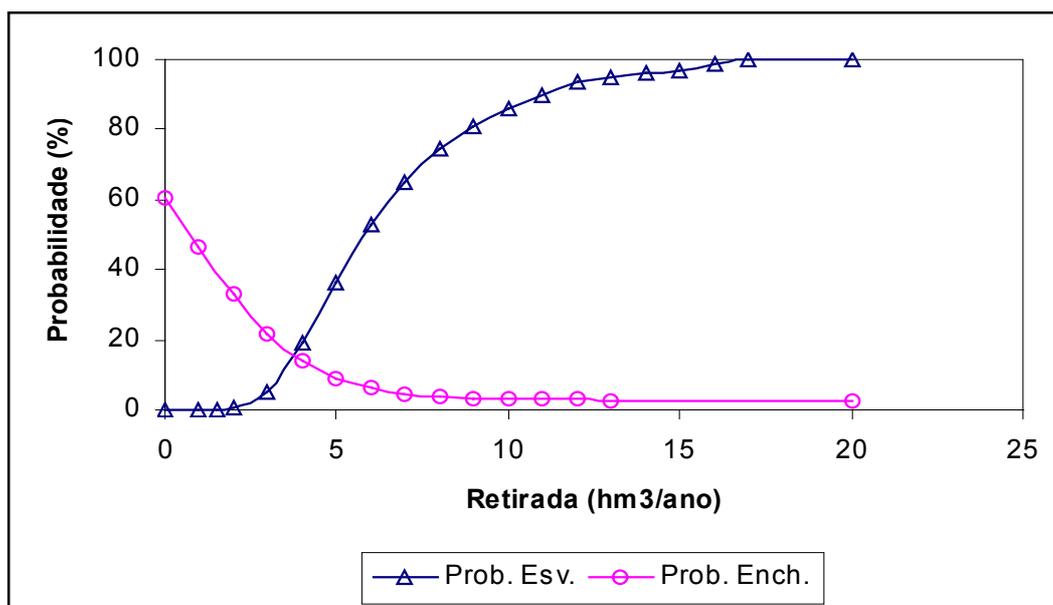
#### 3.4.5.1 – Introdução

O presente capítulo apresenta alguns estudos adicionais visando identificar as características do açude Riacho do Meio quanto a: probabilidade de enchimento, probabilidade de esvaziamento e assoreamento.

#### 3.4.5.2 – Probabilidades de Enchimento e Esvaziamento – Equilíbrio

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

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, no equilíbrio, em cerca de 18 % dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 3,5 hm<sup>3</sup>. A **Figura 3.4.12** apresenta as duas curvas probabilísticas de esvaziamento e enchimento. Nesta Figura pode-se observar que para uma retirada igual a 3,5 hm<sup>3</sup>/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10%, o que implica em uma garantia de 90%.



**FIGURA 3.4.12 – PROBABILIDADES DE ESVAZIAMENTO E ENCHIMENTO DO AÇUDE RIACHO DO MEIO**

### 3.4.5.3 – Assoreamento do Açude Riacho do Meio

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

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 52% de Argila, 21% de Silte e 27% de Areia. A partir destas características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizados formulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

- Deflúvio anual médio (hm<sup>3</sup>): 6,20                      Área= 91,21 km<sup>2</sup>
- Composição média dos sedimentos:
 

Argila	Silte		
Areia	52	21	27
- Peso específico aparente inicial - gamai (t/m<sup>3</sup>): 0,95007
- Coeficiente de consolidação médio - K : 0,07604
- Descarga sólida média (t/ano): 34341,77
- Descarga sólida média específica (t/km<sup>2</sup>/ano): 376,5132
- Razão de transporte ("delivery ratio") - T 0,150205
- Precipitação do mês mais chuvoso (mm): 234,4
- Precipitação média anual (mm): 955

A estimativa do volume assoreado e, conseqüentemente, do volume efetivo ou útil do reservatório ao longo do tempo é feita através da simulação simplificada da operação do reservatório em intervalos  $\Delta t$  igualmente espaçados durante um tempo suficientemente longo. O açude Riacho do Meio foi simulado durante 100 anos com  $\Delta t$  igual a 10 anos. O **Quadro 3.4.6** apresenta os valores obtidos de acordo com a metodologia de Veiga (1993). A tabela mostra o acompanhamento, a cada intervalo de simulação, das variáveis utilizadas bem como sedimento acumulado e do volume efetivo. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de 15,17 hm<sup>3</sup>, havendo uma redução de 17,46% no volume útil do açude Riacho do Meio, o qual era inicialmente de 18,38 hm<sup>3</sup>. Deve-se ressaltar, entretanto, que a aplicabilidade desta metodologia ao semi-árido não foi verificada face à inexistência de registros de dados sedimentológicos.

QUADRO 3.4.6 – SIMULAÇÃO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO AO LONGO DO TEMPO								
PERÍODO PARCIAL (ANOS)		VOLUME INICIAL (hm <sup>3</sup> )	VOLUME/ $\mu$	Er	$\gamma_T$ (t/m <sup>3</sup> )	SEDIMENTO PERÍODO (10 <sup>3</sup> t)	SEDIMENTO ACUMULADO (hm <sup>3</sup> )	VOLUME EFETIVO OU ÚTIL (hm <sup>3</sup> )
0	10	18,38	2,96	0,98	1,00	335,35	0,33	18,04
10	20	18,04	2,91	0,98	1,02	335,33	0,66	17,71
20	30	17,71	2,86	0,98	1,03	335,30	0,99	17,39
30	40	17,39	2,80	0,98	1,04	335,28	1,31	17,07

**QUADRO 3.4.6 – SIMULAÇÃO DO ASSOAREAMENTO DO RESERVATÓRIO AO LONGO DO TEMPO**

PERÍODO PARCIAL (ANOS)		VOLUME INICIAL (hm <sup>3</sup> )	VOLUME/ $\mu$	Er	$\gamma_T$ (t/m <sup>3</sup> )	SEDIMENTO PERÍODO (10 <sup>3</sup> t)	SEDIMENTO ACUMULADO (hm <sup>3</sup> )	VOLUME EFETIVO OU ÚTIL (hm <sup>3</sup> )
40	50	17,07	2,75	0,98	1,05	335,25	1,63	16,75
50	60	16,75	2,70	0,98	1,05	335,22	1,95	16,43
60	70	16,43	2,65	0,98	1,06	335,20	2,26	16,11
70	80	16,11	2,60	0,98	1,06	335,17	2,58	15,80
80	90	15,80	2,55	0,98	1,07	335,14	2,89	15,48
90	100	15,48	2,50	0,98	1,07	335,11	3,21	15,17

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

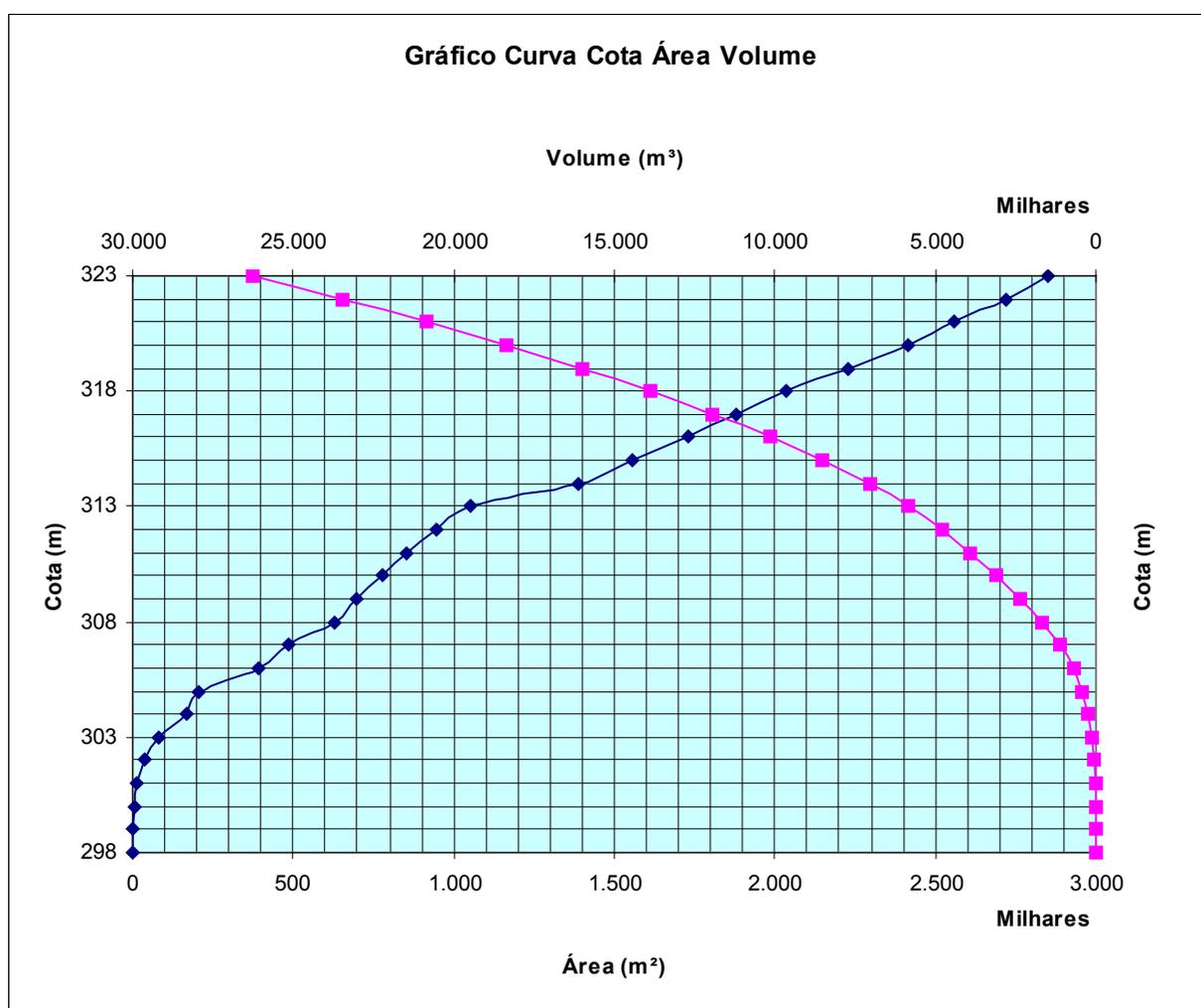
### 3.4.6 – Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	
Área da bacia do Açude Riacho do Meio	91,21 km <sup>2</sup>
Perímetro da bacia do Açude Riacho do Meio	41,91 km
Declividade Média da bacia do Açude Riacho do Meio	16,67 m/km
Comprimento do rio principal	18,0 km
Fator de compacidade	1,24
Fator de forma	0,28
Tempo de concentração	2,98 hrs

HIDROCLIMATOLOGIA	
Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	1001,4 mm
Evaporação Média Anual	2289,0 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1937,4 mm
Insolação Média Anual	2848 h
Umidade Relativa Média Anual	63,6 %
Temperatura Média Anual: Média das Máximas	31,5 °C
Temperatura Média Anual: Média das Médias	25,2 °C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas	20,5 °C
Classificação Climática	DS2A'a'
Classificação climática segundo Köppen	BWx'

ESTUDO DE CHEIAS	
Precipitação Efetiva	SCS
Propagação do Escoamento na Bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	82
Vazão afluente – Tempo de retorno = 1000 anos	947 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente – Tempo de retorno = 10000 anos	1183 m <sup>3</sup> /s

CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	
Capacidade máxima	18,375 hm <sup>3</sup>
Cota da soleira do vertedouro	320 m
Cota de coroamento	323,00 m



<b>CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO – EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO</b>			
<b>RG - %</b>	<b>SG - %</b>	<b>EV- %</b>	<b>Qr 90% (m3/s)</b>
3,419 – 55,2%	0,691 – 11,1%	2,087 – 33,7%	0,113

EV - Volume Evaporado (hm<sup>3</sup>/ano)

SG - Volume Sangrado (hm<sup>3</sup>/ano)

RG- Volume Regularizado (hm<sup>3</sup>/ano)

Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m<sup>3</sup>/s)

<b>DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO – PERFIL CREAGER: ZW = 320 M</b>			
<b>COTA(m)</b>	<b>COTA DE PICO(m)</b>	<b>LÂMINA(m)</b>	<b>Qout(m3/s)</b>
<b>Tr = 10.000 anos - Qin = 947 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 100 m</b>			
320	322,00	2,00	603,5
<b>Tr = 10.000 anos - Qin = 1183 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 100 m</b>			
320	322,30	2,30	785,0

<b>PROBABILIDADES DE Esvaziamento E ENCHIMENTO</b>	
<b>RETIRADA ANUAL (hm<sup>3</sup>)</b>	<b>PROBABILIDADES</b>
3,5	Enchimento = 18% Esvaziamento = 10% Garantia = 90%

<b>ASSOREAMENTO</b>			
<b>VOLUME INICIAL</b>	<b>PERÍODO SIMULADO</b>	<b>VOLUME FINAL</b>	<b>REDUÇÃO</b>
18,38 hm <sup>3</sup>	100 anos	15,17 hm <sup>3</sup>	17,46%

**4 – ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO  
ESCOLHIDA**

#### **4 – ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA**

A alternativa apresentada em Novembro/2005 na 55ª Reunião do Painel já havia sido consolidada quanto a escolha do local do vertedouro e tipo do barramento. Entretanto, o painel observou que, embora a solução do barramento tivesse sido considerada segura, havia uma escavação obrigatória muito grande e sugeriu mudar essa concepção. Foi solicitado que se examinasse uma seção com bermas elevando o nível da escavação obrigatória e mantendo a profundidade do cut-off.

O vertedouro foi, também, outra estrutura que foi solicitada uma otimização aproveitando o topo rochoso para fazer o canal rápido.

Estas mudanças estão sendo apresentada na etapa da revisão final do projeto executivo.

## **5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO**

## **5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO**

No presente capítulo, é apresentado a Memória Descritiva e Justificativa do Projeto da Barragem Riacho do Meio abordando os seguintes itens:

- Caracterização da Fundação da Barragem e Vertedouro;
- Rebaixamento do Lençol Freático;
- Geometria da Trincheira de Fundação;
- Local de Bota-Fora;
- Tratamento das Fundações;
- Materiais de Construção;
- Características do Maciço da Barragem;
- Vazões de Percolação pelo Maciço e Fundação;
- Análise da Estabilidade;
- Tomada D'Água;
- Vertedouro.

### **5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E VERTEDOIRO**

A análise das condições geotécnicas para implantação do maciço da barragem e vertedouro foi realizada a partir do programa de investigação de sondagens do tipo percussão e mista que pode ser visualizada nos Desenhos I-2-RM-08/37-010 a I-2-RM-12/37-010 do Volume 2 – Desenhos.

Examinando esse desenho verifica-se que foram executados 24 furos de sondagens no local do barramento sendo 02 furos a pá e picareta, 10 furos do tipo percussão e 12 furos por sondagem mista.

A partir dessas sondagens foram preparadas as seções transversais das camadas do subsolo que são indicadas nesse desenho, formadas do perfil longitudinal do subsolo e das seções A-A, B-B, C-C, D-D e P-P. Essas seções são mostradas nos Desenhos I-2-RM-08/37-010 a I-2-RM-12/37-010.

Analisando esses perfis foi possível definir nova linha de escavação obrigatória para garantir que os espaldares fiquem assentes em solo com SPT > 4 golpes/30 e

uma linha de cut-off ainda parcial pois o pacote arenoso é mais profundo.

O local do vertedouro foi definido pela SRH como sendo o da ravina. Nesse local foram executadas 15 sondagens mista, cujas localização podem ser vistas no Desenho I-2-RM-06/37-010.

A partir das sondagens do vertedouro foram preparadas as seções do perfil geotécnico do subsolo E-E, F-F, G-G, H-H, I-I, J-J, L-L, M-M, N-N e O-O.

Analisando os perfis destas sondagens verifica-se que a rocha existente é de baixa competência com relação à abrasividade. Desta forma as estrutura do vertedouro (canal rápido + bacia de dissipação) foram projetadas com revestimento em concreto armado.

## 5.2 – REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

As sondagens executadas no vale do rio mostraram a presença do nível d'água a profundidades da ordem de 2,0m dentro do pacote de areia. Tendo em vista as escavações obrigatórias que atingirão profundidades da ordem de 10,00m e mais as escavações do cut-off, esse nível será atravessado em muito. Devido às características do solo a ser retirado, formado de pacotes de areias e siltes deverá ser previsto um projeto de rebaixamento através de uso de ponteiros em dois estágios que será detalhado na fase do projeto executivo.

## 5.3 – GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO

A trincheira de fundação do cut-off será executada nos locais indicados com a profundidade prevista no projeto em forma de trapézio com taludes de 1:1 (V:H) e base menor igual a 7,0m na estaca 7 e 8,0m nas demais seções da barragem.

## 5.4 – LOCAL DE BOTA-FORA

Todos os materiais das escavações da obra e que não tiveram destino na construção desta se tornarão resíduos e portanto deve receber um destino. Os organismos que tratam da preservação do meio ambiente tem recomendado que este material ocupe uma parte da bacia hidráulica. Por esta razão foi reservado o espaço abaixo da curva de nível 302,0 para colocação deste material.

## 5.5 – TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES

Analisando os estudos geotécnicos de subsolo do boqueirão da Barragem Riacho do Meio, percebe-se que no leito do rio ocorrem depósitos aluvionares de argilas arenosas e areias siltosas, em um estado fofo entre 3,00m e 4,00m, passando a

partir de então, a condições mais densas em profundidades. Os ensaios de permeabilidade “in situ” determinaram valores entre  $10^{-4}$ cm/s a  $10^{-5}$ cm/s.

O Projeto Executivo do maciço da Barragem Riacho do Meio concebe uma linha de escavação removendo o solo fofo em toda a base da barragem, além de engastar uma trincheira de vedação (cut-off) no solo residual. Desta maneira, não há necessidade de se fazer uso de uma cortina de injeção.

## 5.6 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Para construção da Barragem Riacho do Meio foram estudadas duas ocorrências de material terroso, jazidas J-01 e J-02, um areal do rio A-01 e uma ocorrência de material pétreo pedreira P-01.

Além destes materiais será possível o aproveitamento das escavações obrigatórias do vertedouro.

## 5.7 – CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DA BARRAGEM

As características do maciço da barragem foi definida a partir das análises conjuntas do tipo do bouqueirão características dos materiais do subsolo, volume a ser armazenado, ou seja, capacidade do reservatório e disponibilidade dos materiais para construção. Levou-se em conta, também, na obtenção da concepção do maciço o espesso pacote aluvionar existente abaixo do leito do rio.

Desta forma concebeu-se uma barragem homogênea de solo executada com materiais das jazidas estudadas e materiais adequados da escavação obrigatória do vertedouro, cuja seção máxima na estaca E-16 pode ser vista no Desenho I-2-RM-14/37-010.

A cota do coroamento será a 323,00m e a cota da linha de escavação obrigatória nesta seção será de 299,28m. Portanto, a altura máxima da barragem será de 23,72m.

A cota do nível normal de acumulação será 320,00m. Nesta cota o volume reservado é de  $18,34\text{hm}^3$ . As cotas da água nas cheias milenar e decamilenar são de 322,00 e 322,30m.

A largura do coroamento é de 6,50m com caimento de 2% para montante. Nas bordas do coroamento está previsto a execução de meio-fios de concreto sendo que em montante é deixado uma saída d'água a cada 20,00m conforme detalhe pode ser visto no Desenho I-2-RM-36/37-010 a I-2-RM-37/37-010.

A camada final da barragem com 30cm de espessura será executada com cascalho natural ou pó de pedra para dar boas condições de rolagem.

Os taludes de montante e jusante serão executados com inclinação de 1:2 (V:H) em toda sua extensão. O talude de montante será protegido da ação da energia da onda do reservatório com a construção de um rip-rap. O rip-rap será formado por uma camada de 0,70m de espessura de blocos de rocha sã assentes sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura, formada de produto de britagem.

O enrocamento do rip-rap a ser construído deverá apresentar as seguintes características:

<b>QUADRO Nº5.1: MATERIAL DO ENROCAMENTO DO RIP-RAP</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
700mm	100
500mm	74-98
300mm	4-58
100mm	-

<b>QUADRO Nº5.2: MATERIAL DE TRANSIÇÃO</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
200mm	100
100mm	100
2" (50,8mm)	90-100
1" (25,4mm)	70-82
3/8" (9,5mm)	42-54
Nº4 (4,76mm)	14-42
Nº10 (2,00mm)	0-18
Nº40 (0,42mm)	-

FAIXA GRANULOMETRICA DA PROTEÇÃO DO TALUDE DE MONTANTE

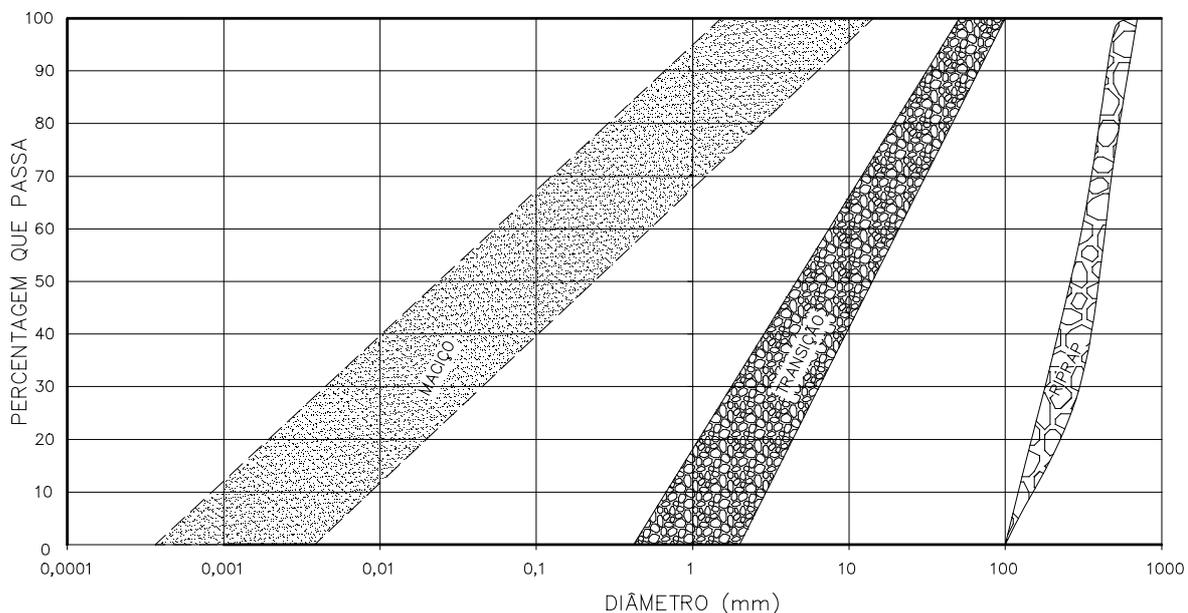
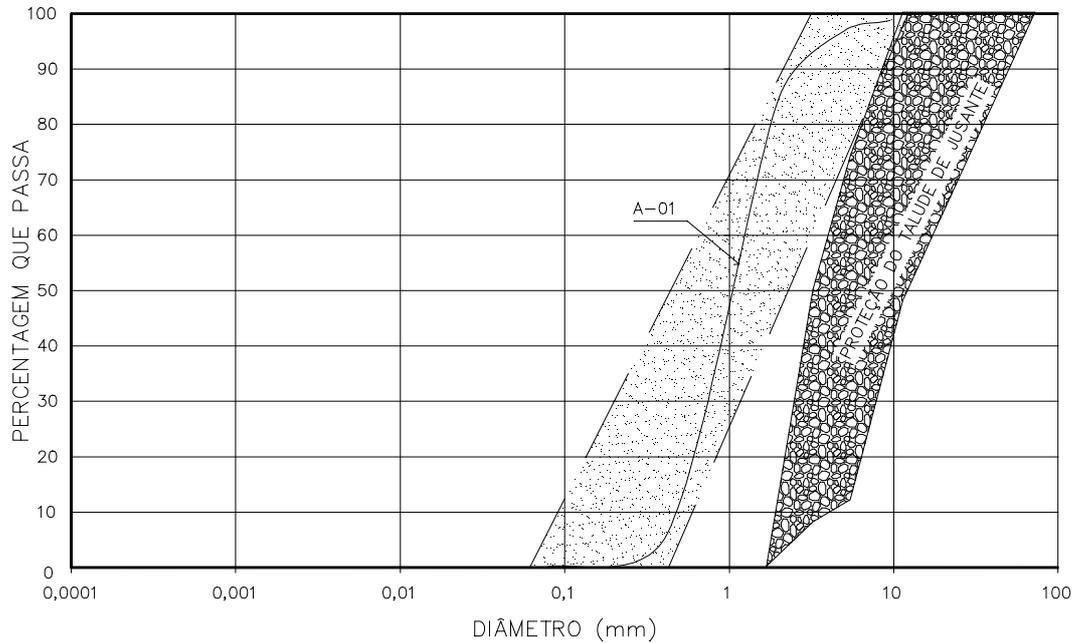


GRÁFICO Nº5.1

A proteção do talude de jusante será executada com uma camada de produto de britagem ou cascalho natural com 30cm de espessura que apresente as seguintes características:

QUADRO Nº5.3: MATERIAL DE PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
300mm	100
1" (25,4mm)	48-100
3/8" (9,5mm)	12 – 74
Nº4 (4,8mm)	8 – 50
Nº10 (2,0mm)	0

CURVA GRANULOMETRICA DO AREAL E DA PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE



**GRÁFICO N°5.2**

Na seção do maciço de jusante tem uma berma de drenagem com 2,0m de largura na cota 313,00m e uma outra berma de estabilização na cota 303,00m com 10,00m de largura.

Na seção do talude de montante foi previsto uma berma de equilíbrio na cota 303,00m com 10,00m de largura.

O sistema de drenagem da barragem é formado pelos seguintes componentes:

- Filtro Vertical de Areia;
- Tapete Impermeabilizante de Areia;
- Dreno de Pé (Rock-Fill).

O filtro vertical de areia e o tapete horizontal terão espessura de 1,0m. O topo do filtro vertical ficará na cota da cheia decamilenar, ou seja, cota 322,30m.

O tapete horizontal será construído entre as estacas 7 a 21. Nas estacas 7 e 21 o tapete será parcial, ou seja, não se estenderá até o pé de jusante pois essas seções não estão dotadas de rock-fill.

Nas demais seções elas vão até o rock-fill.

O filtro vertical e o tapete horizontal serão construídos com areia do areal A-01, pesquisado nos estudos geotécnicos e cujo material deve apresentar as seguintes características:

QUADRO Nº5.4: AREIA GROSSA	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
3/8" (9,5mm)	88-100
Nº4 (4,76mm)	62-100
Nº10 (2,00mm)	38-82
Nº40 (0,42mm)	0-38
Nº200 (0,075mm)	-

CURVA GRANULOMETRICA DO AREAL E DA PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE

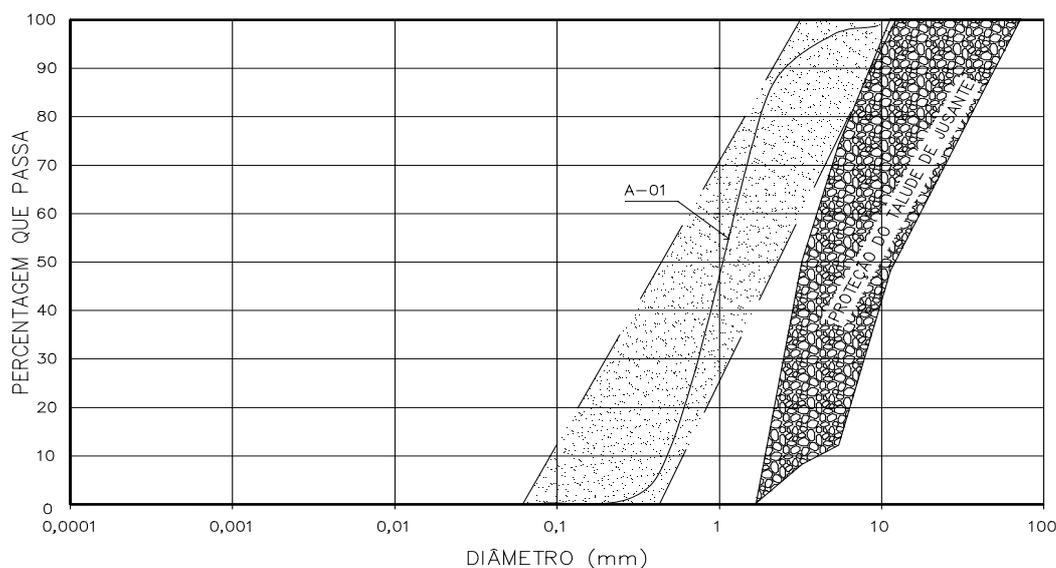


GRÁFICO Nº5.3

O rock-fill do pé de jusante é um enrocamento com forma trapezoidal formando uma berma externa ao talude com 2,0m de largura e taludes de 1:1,5 (V:H). Ele será executado entre as estacas 8 e 20. Ele terá as dimensões de altura de 2,0m para cima da linha de escavação obrigatória e 2,00m para baixo. A inclinação dos taludes do enrocamento é de 1:1,5 (V:H). O rock-fill nas interface com a fundação e o maciço da barragem é dotado de camadas de filtro que são formadas com areia de rio e uma brita produzida denominada brita "A". No miolo do maciço ele é formado por pedra de mão.

As características dos materiais do rock-fill são mostradas abaixo:

QUADRO Nº5.5: BRITA "A"	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	92-98
3/8" (9,2mm)	40-92
Nº4 (4,76mm)	10-72
Nº10 (2,00mm)	0-16
Nº40 (0,42mm)	-

QUADRO Nº5.6: ENROCAMENTO DO ROCK-FILL	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
300mm	100
200mm	94-100
100mm	75-96
2" (50,8mm)	24-85
1" (25,4mm)	4-50
3/8" (9,5mm)	0-7
Nº4 (4,76mm)	-

FAIXA GRANULOMETRICA DA DRENAGEM INTERNA

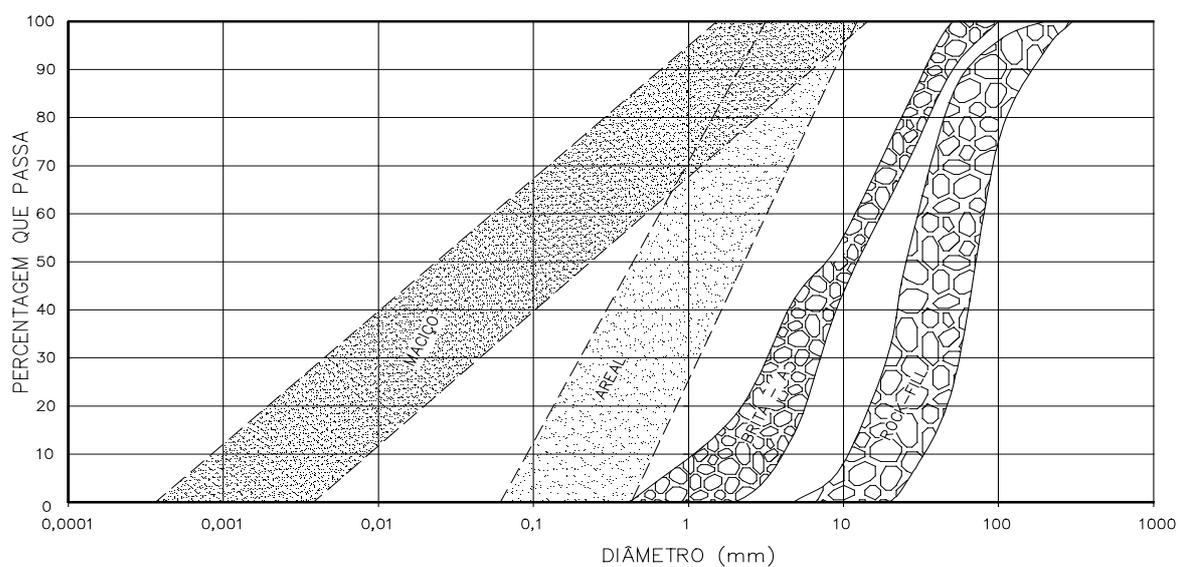


GRÁFICO Nº5.4

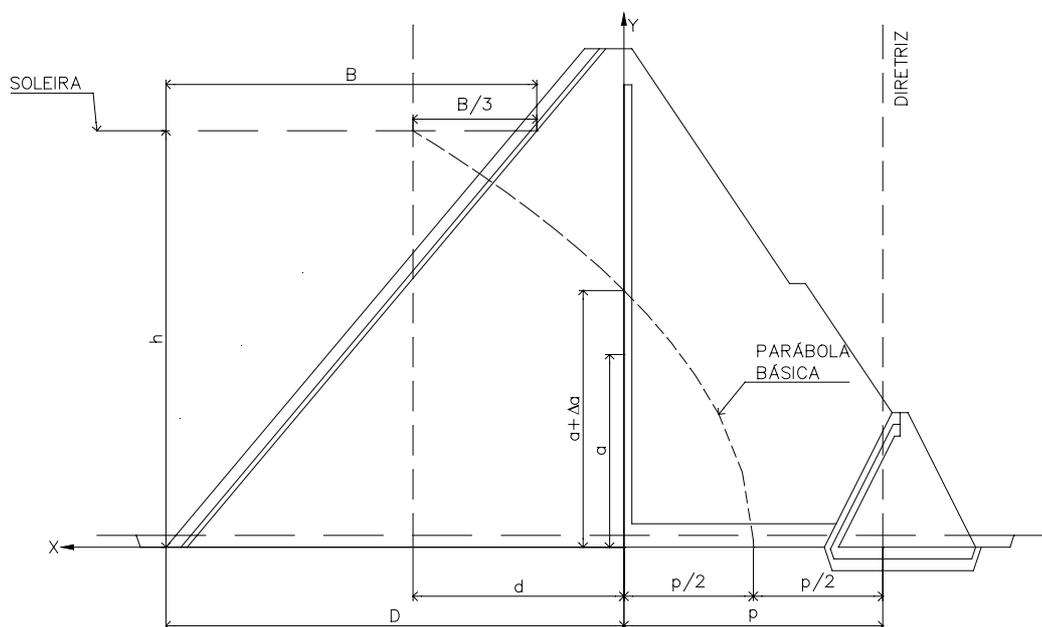
Os detalhes construtivos do rock-fill podem ser vistos no desenho I-2-RM-14/37-010.

## 5.8 – VAZÕES DE PERCOLAÇÃO PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO

As vazões que percolam pelo maciço da Barragem e são coletadas pelo filtro vertical são limitadas superiormente pela linha freática cujo o posicionamento é indefinido. Para contornar esse problema foi associada a linha freática à parábola de KOZENY. O problema de KOZENY corresponde à percolação de água através de um solo, com coeficiente de permeabilidade  $K$ , apoiado sobre uma camada impermeável  $K = 0$  e desaguando num dreno  $K = \infty$ . A camada impermeável será a base da Barragem.

Colocando-se um sistema de eixos cartesianos  $x$  e  $y$ , com  $y$  coincidindo com o paramento de montante do filtro vertical e  $x$  com a base da Barragem, ou seja, fundo do tapete horizontal. A origem desse sistema cartesiano será o ponto de interseção da paramento de montante do filtro vertical com a base do tapete horizontal, como pode ser visto na figura abaixo:

### PARABOLA DE KOZENY - SEÇÃO TRANSFORMADA



Os estudos de KOZENY verificaram que o fluxo no maciço é limitado por uma curva parabólica traçada no sistema cartesiano  $x \cdot y$  pela linha pontilhada com foco na origem dos eixos e equação da parábola dada pela a seguintes expressão:

$$\sqrt{x^2 + y^2} = x + p$$

Onde:

$(x, y)$  = ponto da curva

$p$  = o dobro da distância do foco ao vértice.

Sabendo-se que o meio poroso é anisotrópico com relação à permeabilidade e admitindo:

$$\frac{k_y}{k_x} = \frac{1}{9}$$

Para uso desta equação é necessário fazer a transformação de uma das ordenadas.

Fazendo-se a transformação no eixo  $x$ , tem-se:

$$x_t = x \cdot \sqrt{\frac{k_y}{k_x}}$$

Onde:

$x_t$  = Abscissa transformada

$x$  = Abscissa real

$k_x$  = Permeabilidade na direção horizontal

$k_y$  = Permeabilidade na direção vertical

Sendo assim:

$$x_t = d_t = d \cdot \sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{d}{3}$$

Portanto a equação abaixo:

$$p = \sqrt{x^2 + y^2} - x$$

Se transformada em:

$$P = \sqrt{\left(\frac{x}{3}\right)^2 + y^2} - \frac{x}{3}$$

O valor de  $P$  pode ser calculado aplicando-se a equação ao ponto  $(d, h)$ .

$$P = \sqrt{\left(\frac{d}{3}\right)^2 + h^2} - \frac{d}{3}$$

Obtido o valor de  $P$  obtém-se a vazão de percolação pelo maciço que é dada pela expressão:

$$Q_M = K \cdot P$$

$$\text{Com: } K = \sqrt{K_x \cdot K_y} = 3 \cdot K_y.$$

$$\text{Para: } K_y = 5,0 \times 10^{-9} \text{ m / s e } p = 18,96 \text{ m.}$$

$$Q_M = 9,5 \times 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

A vazão de percolação pela fundação foi obtida considerando que o maciço rochoso abaixo do cut-off é bem mais permeável que este, razão pela qual considerou-se a percolação ocorrendo apenas pelo maciço abaixo do cut-off, considerou-se ainda que este tem 10,00m de espessura. Aplicou-se a expressão dada por:

$$q = \lambda \cdot K_f \cdot h$$

Onde:

$q$  = Vazão por metro

$K_f$  = Coeficiente de permeabilidade

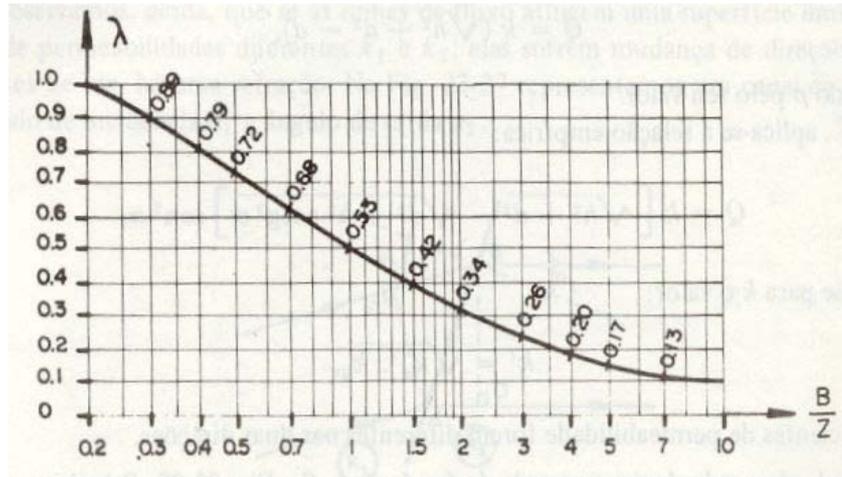
$h$  = Carga hidráulica

$\lambda$  = Coeficiente dado em função de  $B / Z$

$Z$  = Espessura do maciço permeável

$B$  = Extensão da zona impermeável de montante

$\lambda$  é obtido do gráfico abaixo



$$K_f = \sqrt{K_x \cdot K_y}$$

$$\frac{K_y}{K_x} = \frac{1}{9}$$

$$K_f = 3K_y$$

Para:  $K_y = 10^{-6} m / s$

$$K_f = 3 \times 10^{-6} m / s$$

Para:  $B \cong 200m$

$$\frac{B}{Z} = \frac{200}{10} = 21$$

$$\lambda = 0,1$$

$$q = 0,1 \times 3 \times 10^{-6} \times 20 = 6,0 \times 10^{-6} m^3 / s / m$$

## 5.9 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A análise da estabilidade foi feita utilizando-se Método de Bishop Modificado e o programa Geo-Slope/W.

A geometria da Barragem Riacho do Meio foi avaliada de duas maneiras, a saber: a análise de estabilidade estática e sísmica.

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

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

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

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

No que diz respeito à caracterização da ação sísmica, foi adotado, para a situação de final de construção, regime permanente e rebaixamento rápido, um coeficiente sísmico de 0,05.

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

#### **a) Adoção do Coeficiente $R_u$**

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

#### **b) Definição da Linha Piezométrica**

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

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

### c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

O **Quadro nº5.7** mostrado a seguir, indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

QUADRO Nº5.7: PARÂMETROS GEOTÉCNICOS				
Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\phi$ (graus)	R <sub>u</sub>
Rip-Rap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço/Cut-Off	17,1	7,0	31,4°	0,10
Filtro/Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00
Aluvião	17,0	5,0	28°	0,10
Solo Residual	18,0	5,0	28°	0,10
Topo Rochoso	-	-	-	-

#### 5.9.1 – Método Bihop Simplificado

Em 1955 Bishop generalizou o método das fatias para levar em conta o efeito dos empuxos e cisalhamento ao longo das faces laterais das fatias.

Nesse método é feito, também, o equilíbrio dos momentos em torno do centro do círculo de ruptura.

O coeficiente de segurança é dado pela expressão:

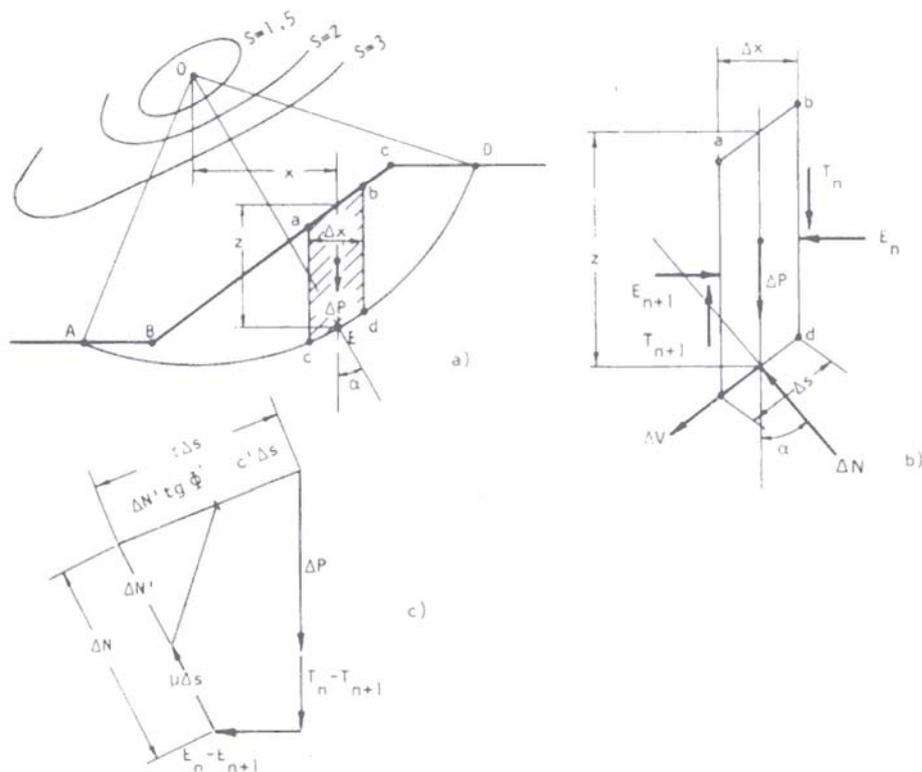
$$S = \frac{1}{\sum \Delta P \operatorname{sen} \alpha} \times \sum C' \cdot \Delta X + \operatorname{tg} \varphi' \cdot \Delta P (1 - \bar{B}) \cdot \frac{\operatorname{sec} \alpha}{1 + \frac{\operatorname{tg} \varphi' \cdot \operatorname{tg} \alpha}{S_0}}$$

Onde:

$C'$  = coesão efetiva.

$\varphi'$  = ângulo de atrito interno efetivo.

Os demais elementos são mostrados na figura abaixo:



## ESTABILIDADE DE TALUDES (MÉTODO DAS FATIAS E DE BISHOP)

### 5.9.2 – Programa Slope/W

O SLOPE/W é um programa computacional que utiliza a Teoria do Estado do Limite de Equilíbrio para calcular o fator de segurança dos taludes de solos e de rochas.

Será feita uma descrição sumária do programa SLOPE/W, abordando os seguintes tópicos, a saber:

- Métodos de Análise;
- Geometria e Estratigrafia;
- Superfície de Escorregamento;
- Pressão Neutra;
- Propriedade do Solo;
- Definição do Problema;
- Resolução do Problema;

- Apresentação dos Resultados;
- Formulário.

#### 5.9.2.1 – Método de Análise

O SLOPE/W possui a capacidade de determinar o fator de segurança dos problemas de estabilidade de taludes, por uma variedade de métodos a saber: Feldenius, Bishop Simplificado, Janbu Simplificado, Spencer, Mongenstern-Price, Corps of Engineers, GLE (Limite de Equilíbrio Geral) e Elementos Finitos.

#### 5.9.2.2 – Geometria e Estratigrafia

O SLOPE/W pode ser usado para modelar uma ampla variação de geometria de taludes e estratigrafia tal como múltiplos tipos de solos, parcialmente submerso em água, várias espessuras e substrato descontínuo camadas de solos impermeáveis e secos ou saturados, tensões de ruptura. As tensões de quebra podem ser modeladas especificando a linha de tensão de ruptura ou o máximo ângulo de inclinação da superfície de escorregamento.

#### 5.9.2.3 – Superfície de Escorregamento

O SLOPE/W usa uma grade para os centros de rotação e um campo para os raios, para modelos de superfície de escorregamento circulares ou compostos.

#### 5.9.2.4 – Pressão Neutra

O SLOPE/W possui algumas opções para especificar a pressão neutra, a saber:

- **Coeficiente da pressão neutra:** Definição do coeficiente  $ru$  para cada tipo específico de solo;
- **Superfície Piezométrica:** O caminho fácil para especificar a pressão neutra é definir a superfície piezométrica que ultrapassa o domínio do problema;
- **Parâmetros de Pressão Neutra em Locais Específicos:** Se os parâmetros de pressão neutro, tal como pressão, linha de saturação ou  $ru$  são conhecidos em uma dada localização específica do solo, eles podem ser especificados no modelo;
- **Isolinhas de Pressão Neutra:** Se isolinhas de pressão neutra são conhecidas, talvez vindas de observações de campo ou de outra forma, como o modelo de rede de fluxo, as pressões neutras podem ser incorporadas do modelo em estudo para analisar a estabilidade do talude.

#### 5.9.2.5 – Propriedade do Solo

O SLOPE/W possui os seguintes modelos para definir o solo:

- **Parâmetros da Pressão Total e/ou Efetiva:** Os parâmetros de Mohr-Colomb para coesão e ângulo de atrito são os mais comuns meios de modelar os solos sobre tensão cisalhante;
- **Tensão Cisalhante em Solos Não-Drenados:** Solos não-drenados exigem resistência ao cisalhamento com atrito nulo;
- **Material com Tensão de Cisalhamento Nulo:** Para materiais que contribuem somente com o seu peso, mas não contribuem para a tensão cisalhante do sistema;
- **Material Impenetrável:** Onde a superfície de escorregamento encontra um material impenetrável, tal como um topo rochoso, a superfície de escorregamento continua ao longo do limite superior do material impenetrável;
- **Envoltória da Ruptura Bilinear:** Uma envoltória da ruptura bilinear de Mohr-Coulomb é útil para modelar materiais que exigem uma mudança no ângulo de atrito, em particular na tensão normal;
- **Incremento na Coesão com a Profundidade:** Em solos normalmente consolidados ou em solos levemente não-consolidados, a coesão é aumentada com a profundidade. O SLOPE/W pode acomodar esta situação de duas maneiras. A primeira maneira é permitindo a coesão variar junto com a profundidade abaixo do topo da camada de solo. Isto é usado para a análise de taludes naturais. A segunda maneira é permitir a coesão variar em função da elevação, independente da profundidade do topo da camada. Isto é usado para a análise de taludes de escavação;
- **Anisotropia na Força Cisalhante:** O SLOPE/W tem uma inúmera maneiras para modelar a anisotropia dos parâmetros da tensão cisalhante, refletindo na variação da prática da engenharia utilizada ao longo do mundo.
- **Envoltória da Tensão Cisalhante:** Nos casos onde a envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb linear ou bilinear são insuficientes para modelar a tensão cisalhante do solo, o SLOPE/W tem a capacidade de especificar uma curva geral relacionando a tensão cisalhante e a tensão normal. Isto é a forma mais genérica de especificar a tensão cisalhante.

- **Tensão Cisalhante Baseada na Tensão Normal com a Força Não-Drenada Máxima:** Junto com este modelo, a tensão cisalhante é baseada na coesão e no ângulo de atrito para a força não-drenada máxima. Tanto a coesão e o ângulo de atrito podem variar junto com a profundidade da superfície do terreno ou junto com a elevação acima do datum;
- **Tensão Cisalhante Baseado na Sobrecarga da Pressão Efetiva:** A tensão cisalhante do solo neste modelo é diretamente relacionada com a pressão efetiva de sobrecarga por um fator específico, por isso aumenta linearmente junto com a profundidade abaixo da superfície do terreno.

#### 5.9.2.6 – Definição do Problema

O SLOPE/W inclui um programa executável denominado DEFINE, o qual define o modelo do problema para analisar a estabilidade de talude.

O programa DEFINE desenha o problema na tela, muito semelhante aos desenhos criados usando pacotes de programas CAD (desenho ajudado por computador).

Para definir o problema, começa definindo o espaço do desenho. Isto é feito escolhendo o tamanho do papel, a escala e a origem do sistema de coordenadas da página. Valores padrões são avaliados para todos estes ajustes. Para orientação quando está desenhando, eixos de coordenadas e grade de pontos de coordenadas podem ser mostrados.

Quando o espaço de desenho é definido, pode-se começar a rascunhar o problema na página usando linhas, círculos e arcos. Pode-se adicionalmente importar uma figura de pano de fundo para representar alguma função. Tendo um rascunho ou figura do domínio do problema, ajuda para definir a estratigrafia do problema de talude.

Depois de definido o espaço do desenho e mostrado o domínio do problema, pode-se especificar a propriedade dos materiais, definir a geometria do talude junto com pontos e linhas, definindo a superfície de escorregamento de teste, especificando as condições de pressão neutra e as condições de aplicação de cargas.

#### 5.9.2.7 – Resolução do Problema

Uma vez o arquivos de dados criado no programa DEFINE o problema é resolvido utilizando o programa SOLVE.

### 5.9.2.8 – Apresentação dos Resultados

O programa CONTOURN é utilizado para visualizar os resultados, onde graficamente são mostrados todas as superfícies de escorregamento em teste e os fatores de segurança calculados pelo programa SOLVE. Os resultados podem ser apresentados como isolinhas de fator de segurança, diagramas de força e polígonos de forças de fatias individuais, gráficos de parâmetros calculados ao longo da superfície de escorregamento e a distribuição probabilística do fator de segurança.

### 5.9.2.9 – Formulário

O SLOPE/W é formulado em termos de duas equações de fator de segurança. Estas equações são usadas para calcular o fator de segurança baseado no momento da fatia e na força de equilíbrio. Dependendo da função da força entre fatias adaptada, o fator de segurança de todos os métodos podem ser determinados destas duas equações.

Uma diferença chave entre os métodos é a admissão de hipótese com respeito as forças normais e de cisalhamento entre fatias. A relação entre as forças de interfatias é representada pelo parâmetro  $\lambda$ . Por exemplo, o valor de  $\lambda$  de zero significa que não há força de cisalhamento entre as fatias. O valor de  $\lambda$  diferente de zero significa que há força de cisalhamento entre as fatias.

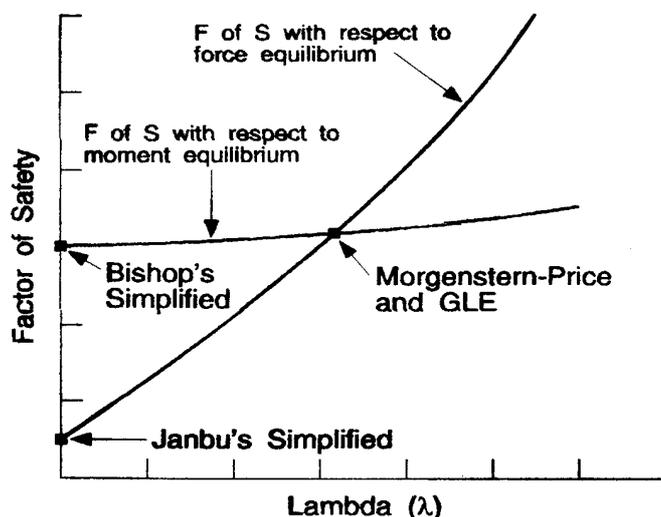


FIGURA Nº5.1: FATOR DE SEGURANÇA X LAMBDA

Na **Figura N:5.1** apresenta o gráfico do fator de segurança versus  $\lambda$ . Duas curvas são mostradas na figura. Uma curva representa o fator de segurança em relação com o momento de equilíbrio e a outra curva representa o fator de segurança com relação a força de equilíbrio. No Método Bishop Simplificado usa-se a força

normal, mas não força de cisalhamento entre as fatias ( $\lambda=0$ ) e somente satisfaz o momento de equilíbrio. Conseqüentemente, o fator de segurança Bishop está no eixo vertical da esquerda do gráfico. No método Janbu Simplificado também utiliza-se a força normal, mas não há força de cisalhamento entre as fatias e satisfaz somente a força de equilíbrio. O fator de segurança Janbu é, por isso, também localizado no eixo vertical da esquerda do gráfico. Nos métodos Morgenstern-Price e GLE utilizam-se ambos as forças normal e de cisalhamento entre as fatias e ambas satisfazem a força e o momento de equilíbrio; o resultado do fator de segurança é igual ao valor da interseção das duas curvas de fator de segurança. Na Figura N°5.1 mostra como geralmente a formulação do SLOPE/W possibilita calcular o fator de segurança dos vários métodos.

### 5.9.3 – Resultados Obtidos

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

#### a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados no **Quadro n°5.8**:

QUADRO N°5.8: ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ESTÁTICA				
SIMULAÇÃO	C.S. MÍNIMO	SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO		
		SUPERFICIAL	INTERMEDIÁRIA	PROFUNDA
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,537	1,565	2,300
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,691	1,638	2,485
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,691	1,638	1,972
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,307	1,291	1,342

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 sismicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no Quadro nº5.9:

<b>QUADRO Nº5.9: ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ABALO SÍSMICO</b>				
<b>SIMULAÇÃO</b>	<b>C.S. MÍNIMO</b>	<b>SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO</b>		
		<b>SUPERFICIAL</b>	<b>INTERMEDIÁRIA</b>	<b>PROFUNDA</b>
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,236	1,254	1,822
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,347	1,306	1,947
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,347	1,306	1,570
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,075	1,072	1,140

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

#### 5.10 – TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 21 do eixo barrável pela a ombreira direita. A tomada d'água terá extensão de 84,00m e será constituída de uma galeria tubular de diâmetro  $\phi=0,300\text{m}$  em aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 306,00m. O corpo do tubo será envolvido em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de  $0,113\text{m}^3/\text{s}$  com velocidade de  $2,0\text{m/s}$ .

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

No lado de jusante será construída uma caixa de concreto armado com três células. Na primeira célula serão colocados os equipamentos hidromecânicos de controle da vazão que são constituídos de um registro de gaveta e uma válvula borboleta. As águas que passarem por esses equipamentos chegarão na segunda célula que tem a função de dissipar a energia cinética. Finalmente, a terceira célula é um tanque tranquilizador com uma saída que dispõe de vertedouro triangular isósceles que permite pela sua equação que se façam as medidas de vazões a partir do nível d'água sobre o vértice da soleira.

Após a caixa de dissipação no início do trecho do canal de restituição, está previsto uma proteção com material granular com a finalidade de evitar a erosão provocado pelo fluxo das águas efluentes da tomada d'água. A proteção do canal de

restituição será constituída por material granular obtido do produto de britagem, o mesmo aplicado no talude de jusante do maciço, em uma extensão de 5,00m, com 0,30m de espessura. Neste segmento, tanto a base do canal como as suas paredes estarão protegidas. As paredes do canal de restituição serão protegidas desde a sua base até a sua crista.

A Barragem será operada entre os níveis de cota 320,00m e 308,00m, onde os volumes são de 18,30hm<sup>2</sup> que corresponde a 100% de capacidade e 0,07hm<sup>3</sup> que corresponde a 0,30% da capacidade.

As escavações obrigatórias atingirão as cotas que permite a implantação da tomada d'água de acordo com as cotas projetadas.

O trecho da tomada d'água a jusante do filtro vertical será todo envolvido por areia grossa do tapete drenante. Da mesma forma o dreno de pé no local da tomada d'água será construído envolvendo a galeria.

#### 5.11 – VERTEDOURO

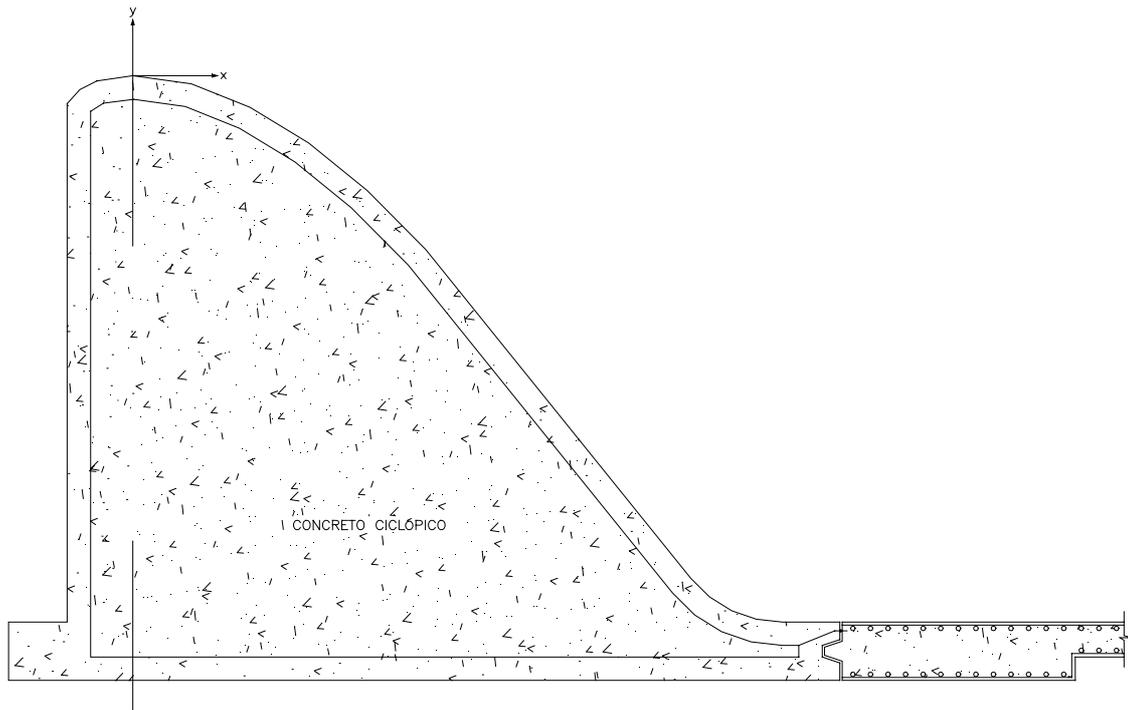
O vertedouro projetado após o relatório da 55<sup>a</sup> Reunião do Painel está implantado em uma sela natural a 125m da estaca 0+00 do eixo barrável, em direção à ombreira esquerda. O vertedouro no trecho vertente terá 100,00m de largura e consiste de um canal de aproximação escavado na cota 317,00m, um perfil creager com ogiva na cota 320,00m. A jusante do perfil creager foi feito um canal rápido com declividade de  $i=4,75\%$ . Esse canal inicia com largura de 100,00m e faz uma transição para 60,00m. O canal rápido desce até a cota 298,00m quando entra em uma bacia de dissipação que foi projetada com 40,00m de extensão.

A partir do final da bacia de dissipação o canal sofre um alargamento voltando para 100,00m. A cota do leito do rio é por volta da 300,00m.

O dimensionamento do perfil do muro creager, o cálculo das velocidades, número de froude, lâminas e alturas conjugadas são mostradas a seguir:

O canal rápido e a bacia de dissipação serão fixados ao maciço da rocha decomposta através de chumbadores.

O perfil do muro creager foi calculado pelo procedimento recomendado pelo Bureau of Reclamation. A crista da ogiva ficará na cota 320,0m, conforme a figura abaixo:



Se for colocado um sistema de eixos cartesianos com origem na ogiva, o Bureau of Reclamation of Small Dams compõem o perfil do muro da seguinte maneira:

- a) A parte curva a esquerda da origem é formado pela concordância de duas curvas circulares de Raio  $R_1$  e  $R_2$ ;
- b) A parte a direita da origem, que vai do ponto de coordenadas (0,0) até o ponto de tangência, segue a equação a seguir:

$$\frac{y}{H_0} = -K \cdot \left( \frac{x}{H_0} \right)^n$$

Onde:

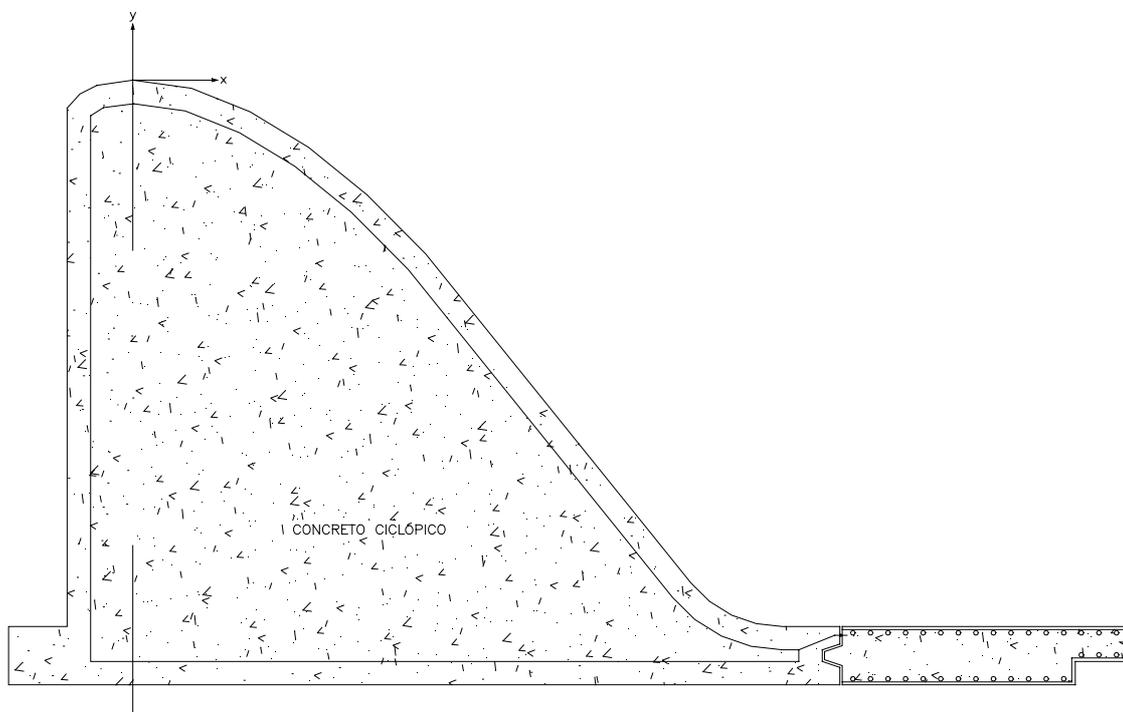
$H_0$  = Energia total acima da ogiva, incluindo a carga cinética;

$K, n$  = Valores obtido de ábacos em função da relação  $\frac{h_a}{H_0}$ .

- a) ponto de tangência  $X_T \cdot Y_T$  é aquele onde a derivada da função iguala-se ao talude do muro.

A seguir é apresentada a determinação do perfil do muro creager com paramento de montante vertical e o dimensionamento da bacia de dissipação.

### 5.11.1 – Perfil Creager



$$Q_{1000} = 615,00 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$L = 100,00 \text{ m}$$

$$q = \frac{615}{100} = 6,15 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$H_o = h_o + h_a$$

Adotando  $h_o = 2,0$  dos estudos hidrológicos.

$$h_a = \frac{q^2}{2 \times g \times (h_o + p)^2} = \frac{6,15^2}{2 \times 9,81 \times 5^2} = 0,08 \text{ m}$$

Equação de Jusante

$$\frac{y}{H_o} = -K \cdot \left( \frac{x}{H_o} \right)^n$$

$$H_o = 2 + 0,08 = 2,08 \text{ m}$$

Para:  $\frac{h_a}{H_0} = \frac{0,08}{2,08} = 0,03$

Dos Ábacos do Bureau of Reclamation, tem-se:

$K = 0,516$  e  $n = 1,856$

Substituindo, tem-se:

$$\frac{y}{2,08} = -0,516 \cdot \left(\frac{x}{2,08}\right)^{1,856}$$

$$y = -0,275 \cdot x^{1,856}$$

Derivando a equação e fazendo:

$$\frac{dy}{dx} = -1,25$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,510 \cdot x^{0,856}$$

Fazendo:

$$-0,510 \cdot x^{0,856} = -1,25$$

$$x^{0,856} = 2,45$$

A abscissa do ponto de tangência:

$$x_T = 2,45^{1/0,856} = 2,84m$$

$$y_T = -1,91m$$

As coordenadas da curva de jusante são mostradas no quadro a seguir:

$X$	$Y = -0,275 \cdot x^{1,856}$
0,00	0,00
0,50	-0,07
1,00	-0,28
1,50	-0,58
2,00	-0,99
2,50	-1,51
2,84	-1,91

Elementos da curva de montante da relação  $\frac{h_a}{H_0} = 0,03$ , tem-se:

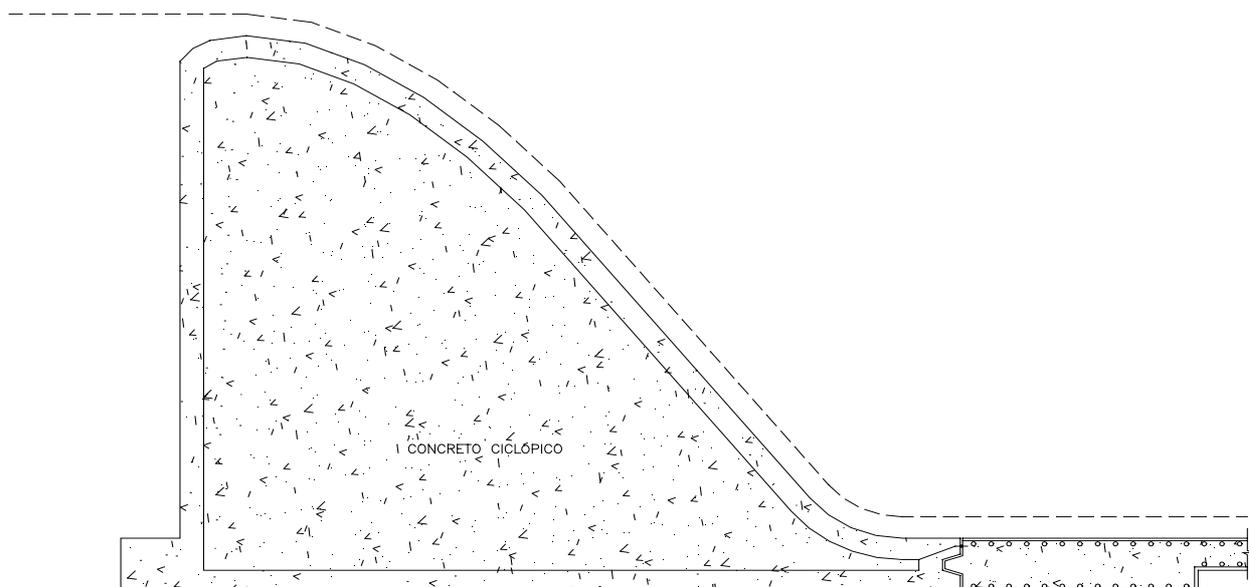
$$\frac{x_c}{H_0} = 0,267 \Rightarrow x_c = 0,55m$$

$$\frac{y_c}{H_0} = 0,114 \Rightarrow y_c = 0,24m$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,514 \Rightarrow R_1 = 1,07m$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,216 \Rightarrow R_2 = 0,45m$$

### 5.11.2 – Cálculo da Lâmina na Entrada do Canal Rápido



Fazendo a igualdade de energia entre os pontos 1 e 2, tem-se:

$$5,08 = y + \frac{V^2}{2g}$$

$$V = \frac{q}{y}$$

Substituindo, tem-se:

$$5,08 = y + \frac{q^2}{2g \cdot y^2}$$

$$5,08 = y + \frac{1,9^2}{y^2}$$

Obtem-se por iteração:

$$y = 0,66m$$

Cálculo da velocidade na entrada do canal

$$V = \frac{q}{y} = \frac{6,15}{0,66} = 9,31m / s$$

Cálculo do número de Froude na entrada do canal:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y}} = \frac{9,31}{\sqrt{9,81 \cdot 0,66}} = 3,65$$

### 5.11.3 – Determinação da Linha D'Água

A determinação da linha d'água da entrada do canal rápido até a entrada da bacia de dissipação é feito aplicando o direto "STEP METHOD", que é mostrado no quadro a seguir:

**Barragem Riacho Meio**

Estação	Y	$\Delta x$	B	A	R	R4/3	V	$V^2/2*g$	E	$\Delta E$	Sf	Sfméd	S0-Sfméd	$\Delta x$	X	Cotas	
																Fundo	Perfil
1	0,66000	-	100,00	66,00	0,6514	0,5647	9,32	4,4255	5,0855	-	0,03014	-	-	-	0,00	317,00	317,66
2	0,65175	12,50	100,00	65,18	0,6434	0,5554	9,44	4,5383	5,1900	0,1045	0,03142	0,03078	0,00836	12,50	12,50	316,41	317,06
3	0,65087	5,00	99,69	64,89	0,6425	0,5544	9,48	4,5789	5,2298	0,0397	0,03176	0,031592	0,007954	5,00	17,50	316,17	316,82
4	0,65442	5,00	98,76	64,63	0,6459	0,5583	9,52	4,6147	5,2691	0,0393	0,03179	0,031774	0,007863	5,00	22,50	315,93	316,59
5	0,66263	5,00	97,21	64,41	0,6537	0,5674	9,55	4,6461	5,3087	0,0396	0,03149	0,031639	0,007931	5,00	27,50	315,69	316,36
6	0,67606	5,00	95,00	64,23	0,6666	0,5823	9,58	4,6734	5,3495	0,0408	0,03086	0,031178	0,008161	5,00	32,50	315,46	316,13
7	0,69239	5,00	92,50	64,05	0,6822	0,6005	9,60	4,6997	5,3920	0,0426	0,03009	0,03048	0,00851	5,00	37,50	315,22	315,91
8	0,70956	5,00	90,00	63,86	0,6985	0,6198	9,63	4,7270	5,4366	0,0445	0,02933	0,029711	0,008894	5,00	42,50	314,98	315,69
9	0,72766	5,00	87,50	63,67	0,7158	0,6403	9,66	4,7553	5,4830	0,0464	0,02856	0,028945	0,009278	5,00	47,50	314,74	315,47
10	0,74677	5,00	85,00	63,48	0,7339	0,6620	9,69	4,7845	5,5313	0,0483	0,02779	0,028178	0,009661	5,00	52,50	314,51	315,25
11	0,76700	5,00	82,50	63,28	0,7530	0,6851	9,72	4,8145	5,5815	0,0502	0,02703	0,02741	0,010045	5,00	57,50	314,27	315,04
12	0,78846	5,00	80,00	63,08	0,7732	0,7097	9,75	4,8452	5,6337	0,0521	0,02625	0,02664	0,01043	5,00	62,50	314,03	314,82
13	0,81128	5,00	77,50	62,87	0,7946	0,7360	9,78	4,8765	5,6878	0,0541	0,02548	0,025866	0,010817	5,00	67,50	313,79	314,60
14	0,83561	5,00	75,00	62,67	0,8174	0,7643	9,81	4,9082	5,7438	0,0560	0,02470	0,025087	0,011206	5,00	72,50	313,56	314,39
15	0,86162	5,00	72,50	62,47	0,8416	0,7946	9,85	4,9402	5,8018	0,0580	0,02391	0,024302	0,011599	5,00	77,50	313,32	314,18
16	0,86258	5,00	72,00	62,11	0,8424	0,7956	9,90	4,9979	5,8605	0,0587	0,02416	0,024033	0,011734	5,00	82,50	313,08	313,94
17	0,91976	5,00	67,50	62,08	0,8954	0,8630	9,91	5,0015	5,9212	0,0607	0,02229	0,023222	0,012139	5,00	87,50	312,84	313,76
18	0,95212	5,00	65,00	61,89	0,9250	0,9013	9,94	5,0332	5,9853	0,0641	0,02147	0,021881	0,01281	5,00	92,50	312,61	313,56
19	0,98213	5,00	62,79	61,67	0,9523	0,9370	9,97	5,0691	6,0512	0,0660	0,02080	0,02114	0,01318	5,00	97,50	312,37	313,35
20	1,00254	5,00	61,23	61,39	0,9708	0,9612	10,02	5,1159	6,1184	0,0672	0,02047	0,020636	0,013432	5,00	102,50	312,13	313,13
21	1,01211	5,00	60,31	61,04	0,9792	0,9724	10,08	5,1739	6,1860	0,0676	0,02046	0,020464	0,013518	5,00	107,50	311,89	312,91
22	1,01065	5,00	60,00	60,64	0,9777	0,9704	10,14	5,2426	6,2533	0,0673	0,02078	0,020618	0,013441	5,00	112,50	311,66	312,67

**Barragem Riacho Meio**

Estação	Y	$\Delta x$	B	A	R	R4/3	V	$V^2/2 \cdot g$	E	$\Delta E$	Sf	Sf méd	S0-Sf méd	$\Delta x$	X	Cotas	
																Fundo	Perfil
23	1,00367	5,00	60,00	60,22	0,9712	0,9618	10,21	5,3158	6,3194	0,0662	0,02125	0,021015	0,013242	5,00	117,50	311,42	312,42
24	0,99697	5,00	60,00	59,82	0,9649	0,9535	10,28	5,3875	6,3844	0,0650	0,02173	0,021492	0,013004	5,00	122,50	311,18	312,18
25	0,99053	5,00	60,00	59,43	0,9589	0,9455	10,35	5,4577	6,4483	0,0638	0,02220	0,021963	0,012769	5,00	127,50	310,94	311,93
26	0,98434	5,00	60,00	59,06	0,9531	0,9379	10,41	5,5266	6,5109	0,0627	0,02266	0,022428	0,012536	5,00	132,50	310,71	311,69
27	0,97839	5,00	60,00	58,70	0,9475	0,9306	10,48	5,5940	6,5724	0,0615	0,02312	0,022888	0,012306	5,00	137,50	310,47	311,45
28	0,97266	5,00	60,00	58,36	0,9421	0,9236	10,54	5,6601	6,6328	0,0604	0,02357	0,023342	0,012079	5,00	142,50	310,23	311,20
29	0,96714	5,00	60,00	58,03	0,9369	0,9168	10,60	5,7249	6,6921	0,0593	0,02401	0,02379	0,011855	5,00	147,50	309,99	310,96
30	0,94697	20,00	60,00	56,82	0,9180	0,8922	10,82	5,9714	6,9183	0,2263	0,02574	0,024875	0,011312	20,00	167,50	309,04	309,99
31	0,92947	20,00	60,00	55,77	0,9015	0,8709	11,03	6,1984	7,1278	0,2095	0,02737	0,026553	0,010473	20,00	187,50	308,09	309,02
32	0,91419	20,00	60,00	54,85	0,8872	0,8524	11,21	6,4073	7,3215	0,1937	0,02890	0,028137	0,009682	20,00	207,50	307,14	308,06
33	0,90078	20,00	60,00	54,05	0,8745	0,8363	11,38	6,5995	7,5003	0,1788	0,03035	0,029625	0,008937	20,00	227,50	306,19	307,09
34	0,88896	20,00	60,00	53,34	0,8634	0,8221	11,53	6,7761	7,6651	0,1648	0,03170	0,031021	0,008239	20,00	247,50	305,24	306,13
35	0,87851	20,00	60,00	52,71	0,8535	0,8096	11,67	6,9383	7,8168	0,1517	0,03296	0,032326	0,007587	20,00	267,50	304,29	305,17
36	0,86924	20,00	60,00	52,15	0,8448	0,7986	11,79	7,0872	7,9564	0,1396	0,03413	0,033542	0,006979	20,00	287,50	303,34	304,21
37	0,86099	20,00	60,00	51,66	0,8370	0,7888	11,90	7,2237	8,0846	0,1283	0,03522	0,034673	0,006413	20,00	307,50	302,39	303,25
38	0,85362	20,00	60,00	51,22	0,8300	0,7800	12,01	7,3488	8,2024	0,1178	0,03623	0,035724	0,005888	20,00	327,50	301,44	302,30
39	0,84704	20,00	60,00	50,82	0,8238	0,7722	12,10	7,4634	8,3104	0,1080	0,03717	0,036697	0,005401	20,00	347,50	300,49	301,34
40	0,84115	20,00	60,00	50,47	0,8182	0,7653	12,19	7,5683	8,4094	0,0990	0,03803	0,037598	0,004951	20,00	367,50	299,54	300,38
41	0,83587	20,00	60,00	50,15	0,8132	0,7591	12,26	7,6643	8,5001	0,0907	0,03883	0,03843	0,004535	20,00	387,50	298,59	299,43
42	0,83285	12,50	60,00	49,97	0,8103	0,7555	12,31	7,7201	8,5529	0,0528	0,03930	0,039062	0,004219	12,50	400,00	298,00	298,83

#### 5.11.4 – Dimensionamento da Bacia de Dissipação

Do cálculo do “STEP METHOD” verifica-se que a lâmina na entrada da bacia de dissipação é :  $y = 0,83m$ .

A velocidade na entrada da bacia:

$$V_1 = 12,31m / s$$

O número de Froude na entrada da bacia de dissipação:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \cdot d}} = \frac{12,31}{\sqrt{9,81 \cdot 0,83}} = 4,31$$

A altura conjugada  $d_2$  será de:

$$d_2 = \frac{d_1}{2} \times \left[ \sqrt{1 + 8F_R^2} - 1 \right] = 4,66m$$

Foi adotado uma bacia de dissipação com  $L = 40,00m$ .

#### 5.11.5 – Dimensionamento dos Chumbadores

Para o dimensionamento dos chumbadores foi considerado a água no nível normal, ou seja, cota 320,00 e saturação do maciço de jusante até essa cota.

A carga máxima é de  $4,0tf / m^2$ . A malha entre os chumbadores é de 1,50m x 1,50m, portanto, a carga máxima no chumbador é de  $9,0tf$ .

A capacidade do chumbador é dada pela expressão:

$F = \pi \times D_d \times L_s \times |C' + (\gamma \times h + \Delta P) \times tg\phi|$ , conhecida como fórmula brasileira de (Nunes 1987).

$F$  = capacidade de carga do Bulbo;

$D_d$  = diâmetro da escavação = 0,10m

$L_s$  = comprimento do bulbo = 5,50m

$C'$  = adesão entre calda e solo, tomada igual à coesão efetiva do solo = 10tf/m<sup>2</sup>

$\gamma$  = massa específica do terreno = 1,8tf/m<sup>3</sup>

$h$  = profundidade do centro do bulbo = 2,75m

$\Delta P$  = parcela de aumento de pressão normal devido à pressão residual de injeção no caso de chumbadores  $\Delta P = 0,0$

$\phi$  = ângulo de atrito real do solo = 38°

Aplicando na expressão, temos:

$$F = \pi \times 0,10 \times 5,50 \times [10 + 1,80 \times 2,75 \times \text{tg} 38^\circ]$$

$$F = 23,96 \Rightarrow \text{OK!}$$

## 5.12 – RELAÇÃO DOS DESENHOS

O Projeto da Barragem Riacho do Meio é composto dos seguintes desenhos, como discriminados no **Quadro N°5.10**:

QUADRO N°5.10: RELAÇÃO DOS DESENHOS	
DESENHO N°	DESCRIÇÃO
I-2-RM-01/37-010	Bacia Hidráulica
I-2-RM-02/37-010	Estudos Topográficos e Planta de Locação dos Eixos
I-2-RM-03/37-010	Perfil Longitudinal do Eixo Barrável
I-2-RM-04/37-010	Arranjo Geral das Obras de Escavações
I-2-RM-05/37-010	Perfil Longitudinal da Barragem
I-2-RM-06/37-010	Planta de Locação dos Furos de Sondagens
I-2-RM-07/37-010	Perfil Longitudinal do Subsolo do Eixo Barrável e Vertedouro
I-2-RM-08/37-010	Seções Geotécnicas do Subsolo na Barragem – Seções AA', BB', CC' e DD'
I-2-RM-09/37-010	Seções Geotécnicas do Subsolo no Vertedouro – Seções EE', FF' e GG'
I-2-RM-10/37-010	Seções Geotécnicas do Subsolo na Ombreira Esquerda a Jusante da Barragem – Seções HH' e II'
I-2-RM-11/37-010	Seções Geotécnicas do Subsolo na Ombreira Esquerda a Jusante da Barragem e Vertedouro – Seções JJ' e LL'
I-2-RM-12/37-010	Seções Geotécnicas do Subsolo no Vertedouro – Seções MM', NN' e OO'
I-2-RM-13/37-010	Planta de Localização e Acessos das Ocorrências
I-2-RM-14/37-010	Seção Máxima e Detalhes
I-2-RM-15/37-010	Seção Tipo (Segmentos Homogêneos) – Segmentos A e B
I-2-RM-16/37-010	Seção Tipo (Segmentos Homogêneos) – Segmentos C e D
I-2-RM-17/37-010	Seções Transversais – Segmentos (Est. 07 a Est. 10)
I-2-RM-18/37-010	Seções Transversais – Segmentos (Est. 11 a Est. 12)
I-2-RM-19/37-010	Seções Transversais – Segmentos (Est. 13 a Est. 14)
I-2-RM-20/37-010	Seções Transversais – Segmentos (Est. 15 a Est. 16)

<b>QUADRO Nº5.10: RELAÇÃO DOS DESENHOS</b>	
<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
I-2-RM-21/37-010	Seções Transversais – Segmentos (Est. 17 a Est. 18)
I-2-RM-22/37-010	Seções Transversais – Segmentos (Est. 19 a Est. 21)
I-2-RM-23/37-010	Planta e Perfil de Escavação do Canal do Vertedouro
I-2-RM-24/37-010	Seções de Escavação do Canal do Vertedouro
I-2-RM-25/37-010	Vertedouro – Perfil Longitudinal e Cortes dos Muros Laterais
I-2-RM-26/37-010	Planta do Vertedouro e Detalhes
I-2-RM-27/37-010	Lajes e Muros de Contenção do Vertedouro – Forma e Armadura
I-2-RM-28/37-010	Detalhes das Juntas no Vertedouro
I-2-RM-29/37-010	Locação dos Chumbadores no Vertedouro – Planta e Detalhes
I-2-RM-30/37-010	Vertedouro – Detalhes da Drenagem Subsuperficial
I-2-RM-31/37-010	Planta, Perfil e Seções de Escavação do Canal da Tomada D'Água
I-2-RM-32/37-010	Seção da Tomada D'Água e Detalhes
I-2-RM-33/37-010	Caixa de Montante e Caixa de Dissipação da Tomada D'Água – Fôrma
I-2-RM-34/37-010	Armadura da Caixa de Dissipação da Tomada D'Água
I-2-RM-35/37-010	Ferragem da Caixa de Montante e Galeria da Tomada D'Água
I-2-RM-36/37-010	Drenagem Superficial – Planta
I-2-RM-37/37-010	Drenagem Superficial – Detalhes

## **6 – CANTEIRO DE OBRA**

## 6 – CANTEIRO DE OBRA

O canteiro de obra será implantado em um platô próximo da jazida de solos pela margem esquerda do Riacho do Meio.

O acesso ao canteiro aos centros habitacionais próximos pode ser feito o ano inteiro por estradas vicinais existentes e deverão passar por um processo de melhorias para receber o tráfego bem mais intenso que acontecerá por ocasião da construção da obra.

As instalações mínimas previstas para o canteiro de obras são mostradas no **Quadro N°6.1:**

<b>Quadro N°6.1: Canteiro de Obra</b>	
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>
01	Escritório da Administração
02	Laboratório de Solo e Concreto
03	Depósito de Cimento
04	Posto de Abastecimento de Combustível
05	Oficina Mecânica
06	Almoxarifado
07	Carpintaria
08	Ferraria
09	Armação e Moldagem
10	Alojamento para Pessoal de Apoio
11	Eletrificação
12	Escritório de Supervisão
13	Ambulatório

Salienta-se que esse local atualmente não é alimentado por energia elétrica e portanto deve-se construir cerca de 10 km de rede elétrica.

## **7 – EQUIPAMENTO MÍNIMO**

## 7 – EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do Cronograma de implantação prevista no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento indicado nos **Quadros N°7.1 e 7.2**:

Quadro N°7.1: Relação dos Equipamentos do Laboratório		
Item	Especificação	Quant. Mínima
1	Conjuntos para determinação da densidade de campo pelo método do frasco de areia	3
2	Cilindro biselado para determinação de densidade nos aterros argilosos	6
3	Conjuntos completos para análise granulométrica por peneiramento, por via seca e úmida	2
4	Conjuntos completos para determinação dos Limites de Atterberg	2
5	Conjuntos completos para ensaios de compactação (Proctor Normal)	3
6	Conjuntos completos para ensaios de sedimentação e massa específica real dos solos	10
7	Equipamentos completos (estufas, cápsulas, balanças, bandejas, provetas, etc.), capazes de atender à solicitação do laboratório, para solos, ligantes e misturados	1
8	Conjuntos completos para ensaios de finura e de pega de cimento	1
9	Moldes para corpos de prova cilíndrico de concreto	50
10	Prensa para rompimento de corpos de prova de argamassa de concreto, com capacidade de 100,0 ton	1
11	Acessórios necessários ao preparo de traços de concreto e de argamassa, moldagem e cura de corpos de prova, etc.	1
12	Conjunto completo para ensaio de abatimento em concreto ("Slump test")	3
13	Conjunto completo para ensaio colorimétrico em areias	2
14	Frasco de Chapman	2
15	Equipamentos complementares necessários ao funcionamento do laboratório nos setores de agregados, cimento e concreto (estufas, balanças, cápsulas, bandejas, etc.)	1

Quadro N°7.2: Equipamento Mínimo		
Item	Descrição	Quant. Mínima
1	Trator de esteira com potência igual ou superior a 270HP	2
2	Trator de esteira com potência igual ou superior a 140HP	2
3	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	2
4	Carregadeira de pneus com potência igual ou superior a 170HP	4
5	Motoniveladora com potência igual ou superior a 125HP	2

<b>Quadro N°7.2: Equipamento Mínimo</b>		
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quant. Mínima</b>
6	Grade de disco pesada	2
7	Caminhão pipa com capacidade de 8000l	5
8	Caminhão basculante com capacidade de 12m <sup>3</sup>	15
9	Rolo liso duplo Tandem autopropulsor do tipo CC 431 DYNAPAC ou similar	1
10	Rolo pé de carneiro tipo CA-25 DYNAPAC	2
11	Retro escavadeira sobre esteira com capacidade de 1,8m <sup>3</sup>	1
12	Conjunto de britagem com capacidade de 50m <sup>3</sup> /h	1
13	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	2
14	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm	2
15	Compressor de ar portátil com capacidade superior a 250pcm	2
16	Sapo mecânico	4
17	Martelete de 24kg	5