

# **BARRAGEM MELANCIA**

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

JULHO DE 2006

**ÍNDICE**

## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS</b> .....	<b>18</b>
<b>3 – ESTUDOS BÁSICOS</b> .....	<b>21</b>
3.1 – CARTOGRAFIA.....	21
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 .....	22
3.2.1.2 – Nivelamento.....	23
3.2.1.3 – Levantamento de Seções Transversais.....	23
<b>3.2.2 – Levantamento do Canal de Restituição</b> .....	<b>23</b>
3.2.2.1 – Locação .....	23
3.2.2.2 – Nivelamento e Levantamento de Seções Transversais.....	23
<b>3.2.3 – Coordenadas e Cotas</b> .....	<b>24</b>
3.3 – INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS .....	24
<b>3.3.1 – Investigações Geológicas</b> .....	<b>24</b>
3.3.1.1 – Geologia Regional .....	24
3.3.1.2 – Geologia Local.....	27
<b>3.3.2 – Investigações Geotécnicas</b> .....	<b>29</b>
3.3.2.1 – Sondagens no Local da Barragem .....	31
3.3.2.2 – Sondagens no Local do Vertedouro .....	32
3.3.2.3 – Estudos de Materiais .....	33

3.3.2.4 – Estudo Complementar no Vertedouro .....	37
3.4 – HIDROLOGIA .....	38
<b>3.4.1 – Característica Física da Bacia Hidrográfica .....</b>	<b>38</b>
<b>3.4.2 – Estudo de Cheias.....</b>	<b>38</b>
3.4.2.1 – Metodologia .....	39
3.4.2.2 – Precipitação .....	40
3.4.2.3 – Precipitação Efetiva .....	41
3.4.2.4 – Hidrograma Unitário – SCS .....	43
<b>3.4.3 – Curvas de Regulação do Reservatório .....</b>	<b>45</b>
3.4.3.1 – Metodologia .....	45
3.4.3.2 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico .....	46
3.4.3.3 – O Diagrama Triangular de Regularização .....	48
3.4.3.4 – Resultados.....	48
<b>3.4.4 – Dimensionamento do Vertedouro .....</b>	<b>51</b>
3.4.4.1 – Propagação da Cheia no Reservatório.....	52
3.4.4.2 – Resultados.....	52
<b>3.4.5 – Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos .....</b>	<b>55</b>
<b>4 – ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA...59</b>	<b>59</b>
<b>5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO.....61</b>	<b>61</b>
5.1 – CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E VERTEDOURO.....	61
<b>5.1.1 – Fundação da Barragem.....61</b>	<b>61</b>
<b>5.1.2 – Fundação do Vertedouro .....</b>	<b>62</b>
5.2 – REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO .....	62

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 .....	63
5.7 – CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DA BARRAGEM .....	64
5.8 – VAZÕES DE PERCOLAÇÃO PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO .....	69
5.9 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE .....	73
<b>5.9.1 – Método Bishop Simplificado .....</b>	<b>74</b>
<b>5.9.2 – Programa Slope/W .....</b>	<b>75</b>
5.9.2.1 – Método de Análise .....	76
5.9.2.2 – Geometria e Estratigrafia .....	76
5.9.2.3 – Superfície de Escorregamento .....	76
5.9.2.4 – Pressão Neutra .....	76
5.9.2.5 – Propriedade do Solo .....	77
5.9.2.6 – Definição do Problema .....	78
5.9.2.7 – Resolução do Problema .....	79
5.9.2.8 – Apresentação dos Resultados .....	79
5.9.2.9 - Formulário .....	79
<b>5.9.3 – Resultados Obtidos .....</b>	<b>80</b>
5.10 – TOMADA D'ÁGUA .....	81
5.11 – VERTEDOURO .....	82
<b>5.11.1 – Perfil Creager .....</b>	<b>86</b>
<b>5.11.2 – Bacia de Dissipação .....</b>	<b>89</b>

<b>5.11.3 – Dimensionamento dos Chumbadores .....</b>	<b>90</b>
<b>5.12 – RELAÇÃO DOS DESENHOS.....</b>	<b>91</b>
<b>6 – CANTEIRO DE OBRA .....</b>	<b>94</b>
<b>7 – EQUIPAMENTO MÍNIMO.....</b>	<b>96</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 de 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 Melancia**, 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**

## 1 – INTRODUÇÃO

O consórcio constituído pelas empresas KL – Serviços de Engenharia S/C 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 Melancia.

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 Melancia onde se discrimina os principais elementos técnicos.

### FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM MELANCIA

#### **Identificação**

Denominação:.....Barragem Melancia

Estado:.....Ceará

Município:.....São Luís do Curu

Rio Barrado:.....Riacho Melancia

Coordenadas UTM (SAD-69):.....E(X)=475.785; N(Y)=9.591.485

Proprietário:.....SRH/CE

Autor do Projeto:.....Consórcio KL Engenharia, MA/BE e Enerconsult

Data do Projeto:.....Julho/2006

### **Bacia Hidrográfica**

Área da Bacia Hidrográfica Total:.....136,97km<sup>2</sup>

Perímetro da Bacia Hidrográfica.....53,80km

Fator de Compacidade.....1,30

Fator de Forma.....0,22

Tempo de Concentração.....7,89h

Declividade Média:.....2,56m/km

Comprimento do Rio Principal:.....25,00km

Pluviosidade Média Anual:.....960,4mm

Evaporação Média Anual:.....1.914,7mm

Evapotranspiração Potencial (Hargreaves):.....1.875,2mm

Insolação Média Anual:.....2.416,6h

Umidade Relativa Média Anual:.....67,9%

Temperatura Média Anual: Média das Máximas.....33,3°C

Temperatura Média Anual: Média das Médias .....26,6°C

Temperatura Média Anual: Média das Mínimas.....22,0°C

Classificação Climática: .....DS2A'a'

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

### **Características do Reservatório**

Área da Bacia Hidráulica (cota 48,00 m):.....491,6ha

Volume Acumulado (cota 48,00 m):.....27,36hm<sup>3</sup>

Volume Afluyente Médio Anual:.....	3,505hm <sup>3</sup> /ano
Vazão Regularizada (90%):.....	0,117m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):.....	220,0m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=10.000 anos):.....	302,0m <sup>3</sup> /s
Nível d'água Máximo (TR=1.000 anos):.....	49,63m
Nível d'água Máximo Maximorum (TR=10.000 anos).....	50,02m

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

Altura Máxima:.....	21,73m
Largura do Coroamento:.....	6,00m
Extensão pelo Coroamento:.....	617,95m
Cota do Coroamento:.....	51,00m
Largura Máxima da Base:.....	81,90m
Talude de Montante:.....	1,0(V):2,0(H)
Talude de Jusante:.....	1,0(V):2,0(H)

### **Barragem Auxiliar 1 – Tipo Homogênea de Terra**

Altura Máxima:.....	0,76m
Largura do Coroamento:.....	6,00m
Extensão pelo Coroamento:.....	43,72m
Cota do Coroamento:.....	51,00m
Talude de Montante:.....	1,0(V):2,0(H)
Talude de Jusante:.....	1,0(V):2,0(H)

## **Barragem Auxiliar 2 – Tipo Homogênea de Terra**

Altura Máxima:.....2,56m  
Largura do Coroamento:.....6,00m  
Extensão pelo Coroamento:.....141,67m  
Cota do Coroamento:.....51,00m  
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-  $\phi=300\text{mm}$   
Cota do Eixo da Tubulação:.....35,00m  
Controle de Montante:.....Comporta Stop-Log com Acionamento Manual  
Controle de Jusante:  
Registro de Gaveta:.....1-  $\phi=300\text{mm}$   
Válvula Borboleta:.....1-  $\phi=300\text{mm}$   
Volume Morto (cota 38,00m):.....1,27hm<sup>3</sup>

## **Vertedouro**

Tipo:.....Perfil Creager com Bacia de Dissipação  
Soleira:  
Cota:.....48,00m  
Largura:.....50,00m  
Bacia de Dissipação:  
Cota:.....45,00m

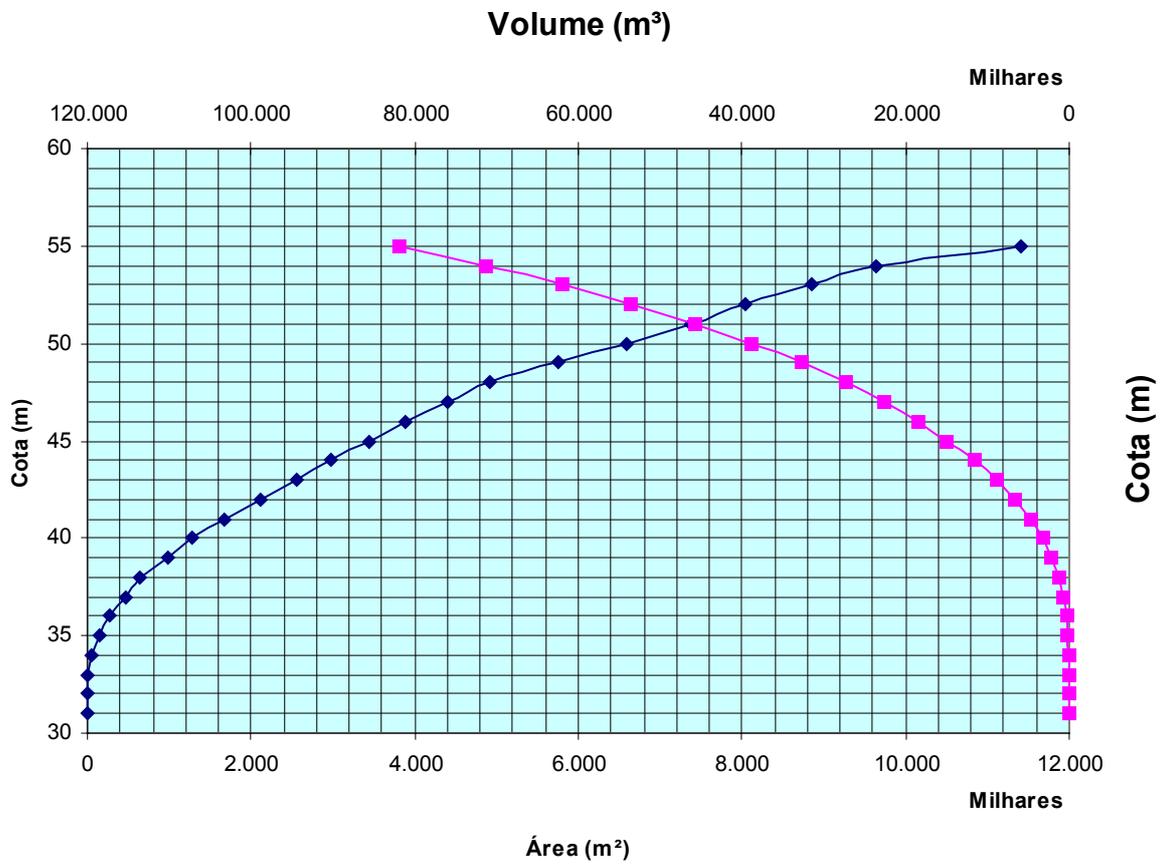
Largura:.....50,00m

Extensão:.....16,00m

Os dados da Curva Cota x Área x Volume são mostrados no **Quadro N° 1.1** e a Curva é mostrada no **Gráfico N° 1.1**.

<b>Quadro N° 1.1: 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>
31.0	0.00	0.00
32.0	3.183.21	1.591.61
33.0	6.862.25	6.614.39
34.0	43.375.31	31.733.22
35.0	152.824.20	129.832.97
36.0	279.865.45	346.177.80
37.0	463.828.58	718.024.81
38.0	649.080.86	1.274.479.53
39.0	992.612.67	2.095.326.30
40.0	1.272.278.32	3.227.771.79
41.0	1.660.497.76	4.694.159.83
42.0	2.107.676.14	6.578.246.78
43.0	2.546.802.73	8.905.486.22
44.0	2.977.230.30	11.667.502.73
45.0	3.448.400.82	14.880.318.29
46.0	3.889.133.50	18.549.085.45
47.0	4.412.260.53	22.699.782.47
48.0	4.916.284.36	27.364.054.91
49.0	5.752.700.70	32.698.547.44
50.0	6.590.201.17	38.869.998.38
51.0	7.377.845.78	45.854.021.85
52.0	8.041.613.05	53.563.751.27
53.0	8.844.990.91	62.007.053.25
54.0	9.649.872.78	71.254.485.09
55.0	11.401.393.27	81.780.118.12

Gráfico Curva Cota Área Volume



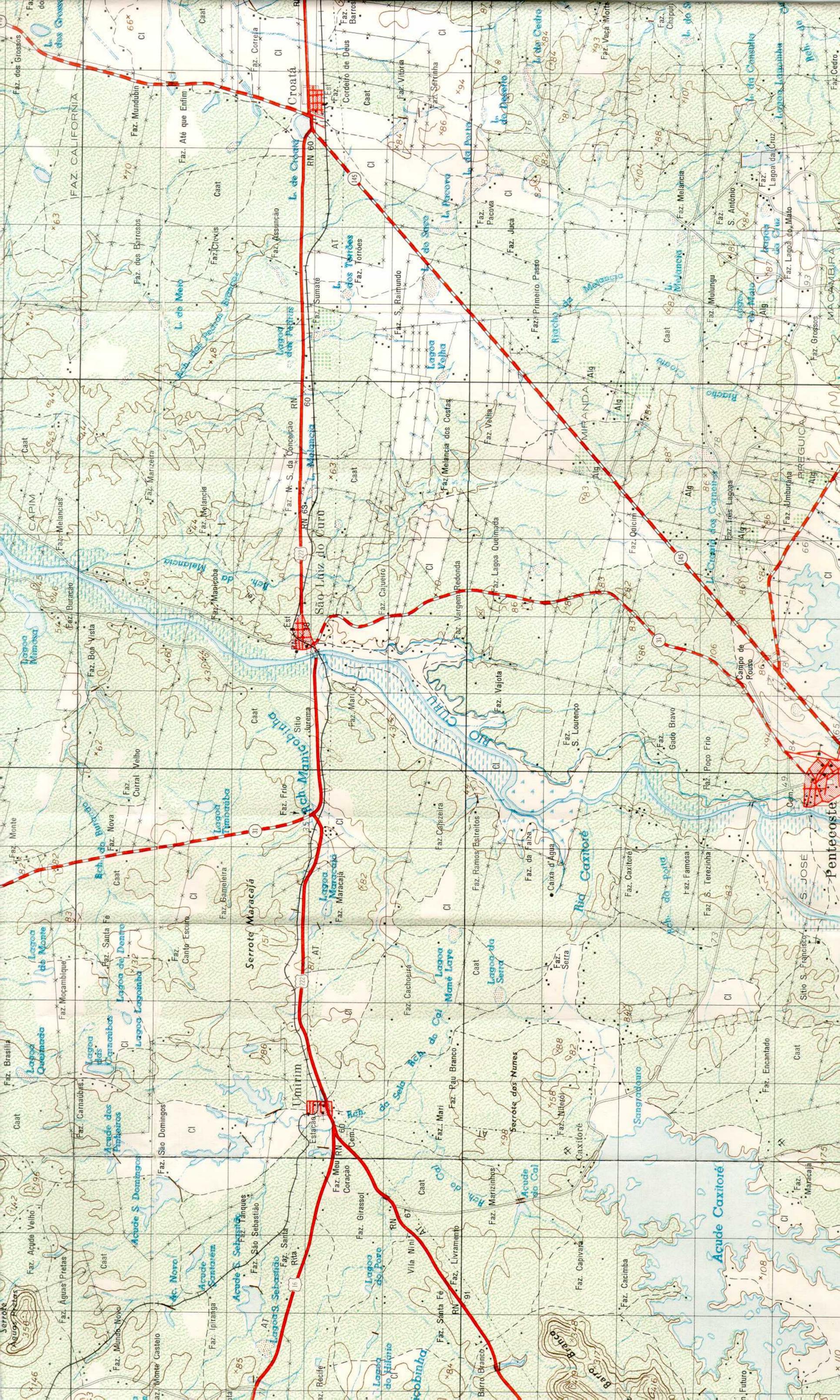
## **2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

## **2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

A Barragem Melancia está localizada no Riacho Melancia, afluente pela margem direita do Rio Curú, no ponto de coordenadas E=475.968 e N=9.591.878

O acesso à Barragem, partindo-se de Fortaleza, poderá ser feito pela BR-222 até a Cidade de São Luís do Curu, percorrendo-se 78,6km. Em São Luís do Curu toma-se a CE-162, rodovia estadual em revestimento primário a qual dá acesso a Pentecoste e após ser percorrido 2,0km segue-se pela esquerda por um caminho carroçável pela margem esquerda do Riacho Melancia. Nesta estrada segue-se por mais 2,0km onde chega-se ao local do futuro barramento.

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





### **3 – ESTUDOS BÁSICOS**

Neste capítulo é apresentado descrito de maneira sucinta os Estudos Básicos realizados na Barragem Melancia.

#### **3.1 – CARTOGRAFIA**

Os estudos cartográficos consistiram no levantamento aerofotogramétrico na área do reservatório da Barragem Melancia, enquadrada geograficamente nas coordenadas 3°40' – 3°45' S e 39°08' – 39°14' WGR.

Os serviços cartográficos realizados foram os seguintes:

- Cobertura aerofotogramétrica de uma área de 85,43 km<sup>2</sup>, na escala de 1:15.000;
- Implantação do apoio básico com 2 marcos de concreto;
- Apoio fotogramétrico de 85,43 km<sup>2</sup> voado com levantamento de 14 HV;
- Aerotriangulação de 13 modelos, perfazendo uma área de 85,43 km<sup>2</sup> ;
- Restituição estereofotogramétrica digital de uma área de 23,57 km<sup>2</sup> na escala de 1:5.000;
- Confecção e edição final de 9 plantas topográficas na escala de 1:5.000, perfazendo um total de 23,57 km<sup>2</sup> de edição cartográfica.

#### **3.2 – TOPOGRAFIA**

Os estudos topográficos da Barragem Melancia 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 Melancia foi locado em um boqueirão com características topográficas favoráveis, onde o Vertedouro foi pré-definido e estudado inicialmente em

uma sela topográfica situada na ombreira esquerda, a cerca de 150,00 metros da estaca 00 do eixo da barragem.

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 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-3. Para uma melhor locação do eixo se fez necessária uma deflexão de 04° 13' à direita do marco de concreto ME-1, seguindo-se até a estaca 27+2,72, onde está implantado o marco de concreto M-4, onde se fez necessária outra deflexão de 164° 18' seguindo-se daí até a estaca final 64+9,85, e no sentido oposto, partindo-se da estaca 00 até a estaca -07+8,15 metros no eixo do Vertedouro, totalizando uma extensão de 1.438,00 metros.

O eixo do Vertedouro partindo da estaca 00, da esquerda para a direita segue até à estaca 08+0,73; e no sentido oposto até a estaca -06, perfazendo um total de 280,73 metros de extensão.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
M-3	00	475785.640	9591485.257
ME-1	-	476030.426	9592131.307
M-4	27+2,72	476013.323	9591977.699

### 3.2.1.2 – Nivelamento

O levantamento altimétrico da Barragem Melancia e o seu respectivo Vertedouro, foi realizado utilizando-se GPS 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.

Numa fase posterior, para um melhor desenvolvimento dos estudos, a faixa de domínio foi expandida à montante e à jusante, para cerca de 200 e 400 metros, respectivamente.

## **3.2.2 – Levantamento do Canal de Restituição**

Assim como o eixo barrável e o Vertedouro, o canal de restituição da barragem Melancia, foi levantado plani-altimetricamente através 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 04 do eixo do Vertedouro, foi locada a poligonal do canal de restituição com 872,40 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até o Riacho da Melancia.

### 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.

### 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

Os estudos geológicos e geotécnicos visando a identificação do sítio onde será construído a Barragem Melancia no Riacho Melancia foram executados pela Empresa GEONORTE – Engenharia de Solos e Fundações Ltda em 1984 quando o DNOCS desenvolveu um projeto nesse sítio e que está sendo readequado nesse contrato.

### 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 Proterozóico Inferior, e está inserida em um extenso pediplano, que consiste de um conjunto profundamente arrasado, cuja forma suavemente ondulada é interrompida por forte rutura de declive com os morros e serrotes residuais formados 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:

**Complexo Tamboril-Santa Quitéria (PXtsq):** apresenta uma morfologia uniformemente elevada e tem contatos transicionais para com as rochas cristalinas circunjacentes, Compreende litologias altamente migmatizadas, apresentando uma zonação da periferia para o núcleo, começando com gnaisses e migmatitos foliados,

passando para migmatitos homogêneos, com culminações granitóides nas porções mais centrais da unidade. Estruturalmente trata-se de domo gnaisse-granito, também chamado de domo migmatítico. Está orientado segundo “trend” da estruturação regional. Os corpos granitóides pertencentes às porções centrais deste domo são petrograficamente, constituídos por granitos granodioritos de grã média a grossa equigranulares ou porfiróides. Esta unidade está inserida na porção noroeste/oeste da bacia hidráulica, com ocorrência predominante nas localidades de Uruburetama, Itapajé e outras.

**Pré-Cambriano indiferenciado estratigraficamente – PI(B):** É constituída por uma associação complexa de migmatitos e gnaisses diversos, encerrando jazimentos subordinados de corpos metacalcários, anfíbolitos, rochas calciosilicáticas e quartzitos. Os gnaisses apresentam-se laminados, algo migmatizados, gradando para anfíbolitos. A biotita-quartzo-feldspato gnaisse exibe tonalidades cinza-claro a cinza médio e cinza-escuro. A estrutura normalmente mostra uma intercalação de bandas escuras, enriquecidas em máficos, com bandas claras, quartzo-feldspáticas. A granulação é principalmente equigranular média podendo variar para fina. Os gnaisses próximos às zonas de falha exibem porfiroblastos estirados de feldspatos, caracterizando os gnaisses facoidais. Os quartzitos ocorrem dispersos, sob a forma de lentes, encaixadas concordantemente ao lineamento das rochas gnáissicas e migmatíticas. Exibem tonalidades esbranquiçadas, granulação que varia de média a grossa, laminadas, quando micáceas.

As estruturas regionais são designadas como lineamentos, geossuturas e ou zonas de cisalhamento. De um modo geral, os lineamentos, representando extensa zona de falha, condicionam a estruturação de sistemas de blocos afundados, posteriormente preenchidos por seqüências sedimentares, ou, simplesmente, seccionam extensas áreas pré-cambrianas, formando blocos orogenéticos de Itapajé, por exemplo. Normalmente, estes falhamentos são recobertos por sedimentos mesocenozóicos, que deixam entrever tal assertiva, pelo alinhamento de drenagem em visível continuidade com as linhas de falhas desenvolvidas em terrenos adjacentes.

**Grupo Ceará (PCe):** compreende seqüências ectiníticas com quartzito na base, seguido de xistos, filitos, gnaisses e lentes carbonáticas no topo da seqüência. O quartzito, o filito e a fácies carbonática podem, localmente, estar ausentes. Em todas as ocorrências a unidade mostra-se dobrada, quer como sinclinais assimétricas em sua forma mais comum, quer como braquissinclinal, sinclinal revirada, ou ainda intensamente dobrada, limitada por falhamento. Esta unidade ocorre geralmente na forma de faixas estreitas e alongadas, concordantes com a estrutura regional. Seus contatos com as rochas circunjacentes são normais, nítidos e retilíneos, às vezes

falhados. Outra característica é o quartzito basal apresentar a morfologia de cristas alongadas em apenas um dos flancos das sinclinais. A sinclinal que passa por Umirim – Açude Caxitoré tem uma extensão de aproximadamente 50 Km e largura média de 3 Km.

**Diques Ácidos (PSy):** são agrupadas nesta unidade as rochas filoneanas, com caráter ácido a hiperácido, como granitos, aplitos, pegmatitos e veios quartzosos. Os diques graníticos geralmente são de cor cinza-clara, biotíticos, de granulação fina a média. Formam matacões quando intemperizados, devido a fraturas subperpendiculares a sua orientação, às vezes formando pequenas elevações. Os veios de quartzo e de sílica cripto-cristalina geralmente formam cristas alongadas e finas, mostrando-se bastante fraturados; são de cor creme ou branca leitosa e exibem uma granulação microcristalina ou afanítica. Devido à degradação mecânica, facilitada pelo fraturamento, o solo, em torno destas rochas é coberto por pedregulho quartzoso. Os pegmatitos não são mapeáveis. Estão preenchendo, preferencialmente, fraturas com as direções NW, NE ou N-S. Contêm grande quantidade de feldspatos e quartzo com incrustações de turmalina (afrisita).

**Grupo Barreiras Indiviso – TQbi:** Litologicamente, se caracteriza por arenitos argilosos de coloração variegada em tons avermelhados, amarelados e esverdeados, com matriz argilo-caulínica, com cimento argiloso, granulação fina à média, com leitos conglomeráticos e por vezes, nódulos lateríticos na base. No topo podem ser encontrados, areias sílicas bem classificadas. Apresentam estruturas de estratificação cruzada e discreta estratificação plano-paralela/fluvial.

**Coberturas Colúvio-Eluviais (TQc):** As coberturas sedimentares de espraiamento aluvial incluem os capeamentos de planalto de colúvios holocênicos. São sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, de tom creme, de granulometria fina a média, ocasionalmente mais grosseira, inconsolidado onde localmente apresentam cascalhos laterizados na base, a matriz é areno-argilosa caulínica e o cimento é argilo-ferruginoso. Apresentam-se sob a forma de pequenas mesetas com bordas dissecadas e contorno irregular, com topografia suave, representando uma pequena elevação em relação ao substrato rochoso. De uma maneira geral, predomina uma seqüência clástica grosseira, do topo para a base, iniciando com um capeamento de solos arenosos, inconsolidados, esbranquiçados a creme, mal selecionados.

**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 dos rios principais, formando terraços aluvionares, e areias de granulação média a grossa, com concentrações de cascalhos, nos leitos dos rios.

A bacia de contribuição a partir da seção do barramento proposto encontra-se completamente em terreno do Embasamento Cristalino, compreendidas pelas rochas Pré-Cambrianas e Proterozóicas descritas anteriormente.

### **Caracterização Estrutural**

A bacia hidrográfica da Barragem Melancias, está localizada em zona de domínio de rochas do Pré-Cambriano Indiferenciado estratigraficamente PI(B), que sofre um controle estrutural ao longo dos seus eixos de drenagem, através de zonas de falhas e fraturas indiscriminadas (segundo carta geológica da CPRM – Projeto Radam Brasil), com direção preferencial NE/SW. Não foram observadas ocorrências de fraturas com representatividade, no interior da bacia.

### **Metamorfismo**

A grande variedade de rochas que constituem a Unidade Pré-Cambriana Indiferenciada – Petsq e PI(B) são resultantes do metamorfismo regional e está caracterizada por assembléias minerais diversas, que possibilitaram sugerir as condições genéticas da seqüência. As assembléias minerais ocorrem dentro de uma faixa ampla de temperatura e pressão, dentro do metamorfismo regional, e não são suficientemente seguros para determinar condições específicas de metamorfismos. Caracteriza-se pela presença constante de migmatização, que em certos casos leva a mesma a uma homogeneização total, originando núcleos e/ou domos granitóides.

Nestes corpos observa-se uma forte lineação marginal que forma a região transicional entre os domos gnaisse-migmatítico-granítico e as rochas circundantes, cujos elementos planares vão sendo diluídos da periferia para o núcleo. Nas porções centrais destes corpos, são encontradas rochas graníticas, no lato sensu, cuja formação é derivada da culminação dos processos anatéticos.

#### **3.3.1.2 – Geologia Local**

Na etapa de desenvolvimento dos Estudos Básicos da Barragem Melancia, foram realizados estudos geológicos que compreenderam inicialmente consultas a mapas geológicos e bibliografias disponíveis sobre a região. Posteriormente foram efetuadas visitas de inspeção ao local dos serviços onde foi procedida uma campanha de investigações geológicas de campo.

A geologia do sítio da Barragem, principalmente no local de implantação do eixo barrável, apresenta uma situação geológica característica da região, pois a área situa-se sobre rochas metamórficas do tipo migmatitos e gnaisses diversos, PI(B), capeadas por uma espessa camada de sedimentos cenozóicos, de idade terciária, (TQc). A seqüência estratigráfica observada no local de implantação do eixo está limitada ao norte por sedimentos cenozóicos de idade terciária (TQbi) e no quadrante oeste, por litologias do Grupo Ceará, micaxistos, quartzitos, metacalcários e gnaisses, no sentido Norte/Sul, Umirin, Caxitoré e margeando a localidade de Pentecoste e rochas pertencentes ao Complexo Tamboril Santa Quitéria, constituída por migmatitos diversos e granitóides.

No sítio do barramento, na área que corresponde às ombreiras ou zonas mais elevadas, verificou-se um capeamento de solo residual (TQc), constituído de argila silto-arenosa, com pedregulho, coberta por seixos de quartzo em diversos tamanhos e forma arredondada. Este solo apresenta coloração creme e amarela à cinza variegada, a profundidades que variam de 1,00m a 3,00m. Esta situação é observada principalmente nas ombreiras da barragem, entre as estaca 0+0,00 a 3+0,00 (OE) e 57+0,00 a 64+9,85 (OD), e área do Vertedouro, entre as estacas 0S+0,00 e 8S+0,73, onde os afloramentos rochosos são inexistentes.

No restante do eixo, entre as estacas 3+0,00 e 57+0,00, observou-se a ocorrência de silte arenoso, micáceo, com pedregulhos, compacta à muito compacta e de cor cinza-clara à escura e amarela.

Na área onde está localizada a calha do riacho Melancia, ocorrem os depósitos de aluviões recentes, do período Quaternário, em forma de pequenos e médios bancos de areia medianamente graduada, fofa à compacta, granulometria média e grossa, com pedregulho, de coloração cinza-clara a creme e apresentam pequena espessura, devido à ocorrência de afloramentos de migmatitos.

Na parte baixa dos boqueirões, nas margens do riacho, estão restritos os sedimentos aluviais representativos no local do sítio barrável, sob a forma de solos silto-arenosos do período Terciário, pouco elevadas, e estendem-se por toda a extensão do riacho, desenvolvendo planícies aluviais (várzeas) sujeitas a inundações.

As ocorrências rochosas tem predominância de rochas migmatíticas, orientadas preferencialmente segundo NE-SW. Os afloramentos ocorrem em forma de grandes blocos medianamente arredondados, em maior quantidade na ombreira esquerda, principalmente à jusante do eixo locado, e ombreira direita, entre as estacas 26+0,00 e 32+0,00. São rochas leucocráticas, de cor cinza clara, grão média a grosseira, isotrópicas, constituídas de quartzo, feldspato (plagioclásio), biotita, muscovita e

pequenos cristais de granada disseminados. Os feldspatos (plagioclásio) ocorrem em forma de cristais zoneados porfiríticos, com dimensões entre 1 a 2 cm.

A drenagem formada pelos rios de pequeno curso e regime irregular é definida no padrão dendrítico, condicionado à estruturação das rochas cristalinas. O Riacho Melancia pertence à bacia comandada pelo Rio Curu. No local do barramento em estudo o vale entalhado pelo Riacho Melancia é aberto, com suaves elevações que formam as ombreiras, aonde as cotas máximas chegam a 70,00 m, com relação ao nível do mar.

### 3.3.2 – Investigações Geotécnicas

No **Quadro N° 3.3.1** são numeradas todas as sondagens realizadas na Barragem Melancia.

<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>
SPP-01	Barragem	9.591.521,5632	475.802,4287
SPP-02	Barragem	9.591.539,7163	475.810,8230
SPP-03	Barragem	9.591.557,8694	475.819,2174
SPP-04	Barragem	9.591.576,0225	475.827,6117
SPP-05	Barragem	9.591.594,1756	475.836,0060
SPP-06	Barragem	9.591.612,3287	475.844,4004
SPP-07	Barragem	9.591.630,4818	475.852,7947
SPP-08	Barragem	9.591.648,6349	475.861,1891
SPP-09	Barragem	9.591.684,9411	475.877,9777
SPP-10	Barragem	9.591.703,0942	475.886,3721
SPP-11	Barragem	9.591.721,2473	475.894,7664
SPP-12	Barragem	9.591.739,4004	475.903,1608
SPP-13	Barragem	9.592.469,8529	476.086,4819
SPP-14	Barragem	9.592.628,0823	476.110,2193
SPP-15	Barragem	9.591.975,3907	476.012,2872
SPP-16	Barragem	9.591.995,1648	476.015,2697
SPP-17	Barragem	9.592.014,9435	476.018,2369
SPP-18	Barragem	9.592.054,5008	476.024,1712
SPP-19	Barragem	9.592.074,2795	476.027,1384
SPP-20	Barragem	9.592.094,0582	476.030,1056
SPP-21	Barragem	9.592.113,8368	476.033,0728

<b>Quadro Nº 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>
SPP-22	Barragem	9.592.232,5089	476.050,8758
SM-01	Barragem	9.592.311,6236	476.062,7445
SM-03	Barragem	9.592.153,3942	476.039,0071
SM-06	Barragem	9.592.034,7221	476.021,2041
SM-07	Barragem	9.591.939,0845	475.995,4985
SM-08	Barragem	9.591.866,4721	475.961,9211
SM-09	Barragem	9.591.757,5535	475.911,5551
SM-10	Barragem	9.591.666,7880	475.869,5834
SP-01	Barragem	9.591.812,0128	475.936,7381
SP-03	Barragem	9.591.830,1659	475.945,1324
SP-06	Barragem	9.591.848,3190	475.953,5268
SP-11	Barragem	9.591.884,6252	475.970,3155
SP-14	Barragem	9.591.902,7783	475.978,7098
SP-17	Barragem	9.591.920,9314	475.987,1041
SP-21	Barragem	9.591.957,2376	476.003,8928
SP-22	Barragem	9.591.775,7066	475.919,9494
SP-23	Barragem	9.591.793,8597	475.928,3438
SP-04	Barragem	9.591.846,9546	475.908,8262
SP-02	Barragem	9.591.813,3772	475.981,4386
SP-07	Barragem	9.591.865,1077	475.917,2206
SP-05	Barragem	9.591.831,5303	475.989,8330
SP-09	Barragem	9.591.883,2608	475.925,6149
SP-08	Barragem	9.591.849,6834	475.998,2273
SP-12	Barragem	9.591.901,4139	475.934,0093
SP-10	Barragem	9.591.867,8365	476.006,6217
SP-15	Barragem	9.591.919,5670	475.942,4036
SP-13	Barragem	9.591.885,9896	476.015,0160
SP-18	Barragem	9.591.937,7201	475.950,7979
SP-16	Barragem	9.591.904,1427	476.023,4103
SP-20	Barragem	9.591.955,8732	475.959,1923
SP-19	Barragem	9.591.922,2958	476.031,8047
SM-14	Vertedouro	9.591.433,9562	475.701,3025
SM-13	Vertedouro	9.591.341,6605	475.617,7544
SM-12	Vertedouro	9.591.399,4421	475.634,0139

<b>Quadro Nº 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>
SM-11	Vertedouro	9.591.437,9215	475.644,8434
SM-1A	Vertedouro	9.591.407,2300	475.532,3200
SM-2A	Vertedouro	9.591.469,5400	475.310,9200
SM-101A	Barragem	9.592.489,6300	476.089,4500
SP-601	Vertedouro	9.591.183,4048	475.927,5611
SP-602	Vertedouro	9.591.243,3074	475.924,1431
SP-603	Vertedouro	9.591.299,8185	475.721,8411
SP-604	Vertedouro	9.591.357,2657	475.739,1563
SP-605	Vertedouro	9.591.380,6229	475.453,7541
SP-606	Vertedouro	9.591.438,0701	475.471,0693
SP-607	Vertedouro	9.591.409,4817	475.358,0087
SP-608	Vertedouro	9.591.466,9289	475.375,3239
SP-609	Tomada D'Água	9.592.011,6559	476.037,7024
SM-501	Tomada D'Água	9.592.001,1183	476.085,1552
SM-502	Tomada D'Água	9.592.017,8028	475.997,2796

A seguir serão apresentados os resultados da investigação geotécnica realizada.

### 3.3.2.1 – Sondagens no Local da Barragem

O DNOCS em 1984 executou (15) quinze sondagens mistas iniciadas a percussão e prosseguidas por rotativa, (21) vinte e uma sondagens a percussão e (22) vinte e duas sondagens a pá e picareta, nas posições indicadas em planta no desenho em anexo.

Os resultados das sondagens foram apresentados, em planta, perfil longitudinal e sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo nos relatórios T-101/84 de 26.03.84 e T-101-3/84 de 08.05.84 da firma GEONORTE – Engenharia de Solos e Fundações Ltda.

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

Para extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 1 1/8" de diâmetro externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65 kg, com altura de queda de 75 cm.

Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar cada 15 cm do terreno, até uma penetração total de 45 cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15 cm, ou seja dos 30 cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de "Standard Penetration Test (SPT)".

Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa BX (diâmetro externo 59,56 mm) acoplada a um barrilete simples. A sonda utilizada foi uma DBS 50 da DIBRASIL, de avanço MANUAL.

Para cada operação do barrilete foram registrados a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis individuais das sondagens.

Com base nos resultados das sondagens, foram preparadas seções esquemáticas do subsolo, que representam evidentemente apenas uma indicação do desenvolvimento provável das camadas do subsolo, constatadas somente nas verticais das sondagens e foram elaboradas visando permitir uma melhor visualização da natureza geral do subsolo no local.

Em alguns trechos de sondagens a percussão foram realizados ensaios de infiltração "LEFRANC" e nos trechos de sondagens rotativa foram realizados ensaios de perda d'água "LUGEON".

### 3.3.2.2 – Sondagens no Local do Vertedouro

No local do vertedouro foram executadas (04) quatro sondagens mistas, iniciadas a percussão ou a pá e picareta e prosseguidas por rotativa, nas posições indicadas em planta no desenho em anexo.

Os procedimentos para execução dos trechos de sondagens a percussão e rotativa foram os mesmo descritos no item anterior, sendo que o diâmetro da coroa utilizada nos trechos de rotativa foi AX (diâmetro externo 47,63 mm).

Com base nos resultados das sondagens foi preparada uma seção esquemática do subsolo local do vertedouro, que representa evidentemente apenas uma indicação do desenvolvimento provável das camadas do subsolo, constatadas somente nas

verticais das sondagens e foi elaborada visando permitir uma melhor visualização da natureza geral do subsolo no local.

### 3.3.2.3 – Estudos de Materiais

O estudo de ocorrências de materiais para construção foi iniciado por um simples reconhecimento de toda área em volta do novo barramento, de modo a localizar possíveis jazidas, examinando a qualidade e estimando os volumes de materiais disponíveis.

Foram identificadas e estudadas, através de sondagens a pá e picareta cobrindo toda a área, quatro jazidas. Para uma melhor visualização de suas localizações, as jazidas foram indicadas, também, na planta geral apresentada no desenho em anexo.

Os valores de expurgo médio, espessura média do material utilizável, bem como dados de área, volume e distância média estão resumidos a seguir no **Quadro Nº 3.3.2.:**

<b>QUADRO Nº 3.3.2: ENSAIOS DE LABORATÓRIO DAS OCORRÊNCIAS DE SOLO</b>				
<b>JAZIDA Nº</b>	<b>J-1</b>	<b>J-2</b>	<b>J-3</b>	<b>J-4</b>
Expurgo Médio (m)	0,30	0,30	0,10	0,10
Espessura Média (m)	1,20	1,00	1,30	1,50
Área (m <sup>2</sup> )	252.500	164.100	260.400	124.410
Volume (m <sup>3</sup> )	303.000	164.100	338.520	186.615
Distância Média (m)	2.800	1.700	800	700

Para a construção das alvenarias de pedra e drenos foram localizadas duas pedreiras e dois areais cujas localizações são mostradas no desenho em anexo e as principais características, tais como área e volume utilizáveis, são apresentados nos desenhos em anexo.

De todas as sondagens das jazidas J-1 e J-2 foram coletadas amostras e em algumas delas realizados os seguintes ensaios:

- Granulometria por Peneiramento;
- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Compactação (Proctor Normal).

De todas as sondagens das jazidas J-3 e J-4 foram coletadas amostras e em algumas delas foram realizados os seguintes ensaios:

- Granulometria por Peneiramento;
- Limite de Liquidez;
- Limite de Plasticidade;
- Densidade Mínima, segundo a Metodologia D2049-69 da ASTM;
- Densidade Máxima por um ponto com equipamento de compactação, em amostra seca, com energia do Proctor Modificado.

Os resultados médios dos ensaios de caracterização são apresentados a seguir no **Quadro N° 3.3.3**:

QUADRO N° 3.3.3					
ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO		JAZIDAS			
		01	02	03	04
Granulometria (% que passa)	3/8"	99	97	100	100
	N°4	95	85	99	100
	N°10	83	71	97	99
	N°40	65	52	78	86
	N°200	39	31	28	27
Plasticidade (%)	LL	33	32	NL	NL
	LP	17	17	NP	NP
	IP	16	15	NP	NP
Classificação Unificada (USC)		SC	SC	SM	SM

Os resultados dos ensaios de caracterização (limites de Atterberg e Peneiramento) permitem classificar os solos das jazidas J-01 e J-02 no tipo SC e das jazidas J-03 e J-04 no tipo SM do Sistema Unificado de Classificação dos Solos ("Unified Soil Classification – USC").

O enquadramento dos solos na "Classificação Unificada" possibilita estimar suas características no que concerne a sua utilização na construção de Barragens de Terra. Segundo Sherard (Sherard, J. L. e outros – "EARTH AND EARTH ROCK DAMS" – JOHN WILEY AND SONS, INC. 1963) os solos do tipo SC e SM apresentam as seguintes características.

## SC

- Impermeável;
- Alta Resistência à Erosão;
- Alta à Média Resistência ao Cisalhamento;
- Boa à Razoável Trabalhabilidade.

## SM

- Semi-Permeável a Impermeável;
- Média a Baixa Resistência à Erosão;
- Alta a Média Resistência ao Cisalhamento;
- Boa a Regular Trabalhabilidade.

As propriedades acima citadas são esperáveis para obras em que seja feito controle de umidade e densidade durante a construção. Para orientação deste controle são apresentados a seguir no **Quadro Nº 3.3.4** os valores médios da massa específica seca máxima ( $\gamma_{SM}$ ) e da umidade ótima ( $h_{ot}$ ), obtidos nos ensaios de compactação das jazidas J-01 e J-02. Das jazidas J-03 e J-04 são apresentados no **Quadro Nº 3.3.5** os valores médios das densidades mínimas e máximas.

QUADRO Nº 3.3.4		
VALORES DE COMPACTAÇÃO	JAZIDAS	
	J-1	J-2
$\gamma_{SM}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,78	1,77
$h_{ot}$ (%)	16,90	17,60

QUADRO Nº 3.3.5		
VALORES DE COMPACTAÇÃO	JAZIDAS	
	J-1	J-2
$\gamma_{min}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,43	1,41
$\gamma_{max}$ (g/cm <sup>3</sup> )	1,90	1,93

Foram ainda realizados os ensaios de cisalhamento direto rápido cujos resultados são resumidos a seguir no **Quadro Nº 3.3.6**:

QUADRO Nº 3.3.6		
AMOSTRA	ENSAIO DE CISALHAMENTO DIRETO RÁPIDO	
	C (kg/cm <sup>3</sup> )	tg $\phi$
Jazida 1 – Furo 2	0,40	0,50
Jazida 1 – Furo 7	0,24	0,68
Jazida 2 – Furo 6	0,51	0,64
Jazida 2 – Furo 9	0,47	0,65
Jazida 3 – Furo 3	0,06	0,71
Jazida 4 – Furo 2	0,21	0,66

Os resultados dos ensaios de permeabilidade de carga variável realizados em amostras das jazidas são apresentados no **Quadro Nº 3.3.7**:

QUADRO Nº 3.3.7	
AMOSTRA	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE
	K (cm/s)
Jazida 1 – Furo 2	$2 \times 10^{-7}$
Jazida 1 – Furo 7	$2 \times 10^{-7}$
Jazida 2 – Furo 6	$1 \times 10^{-6}$
Jazida 2 – Furo 9	$5 \times 10^{-7}$
Jazida 3 – Furo 3	$4 \times 10^{-5}$
Jazida 4 – Furo 2	$1 \times 10^{-4}$

Foram ainda realizadas seis granulometrias com sedimentação em duas amostras da Jazida J-01, duas da Jazida J-02, uma da Jazida J-03 e uma da Jazida J-04.

De todas as amostras coletadas nos areais A-01 e A-02, foram escolhidas seis amostras de cada areal para a realização dos ensaios de granulometria por peneiramento e densidades mínimas e máximas.

Nas pedreiras P-01 e P-02 foi coletada uma amostra de cada pedreira e sobre elas realizados os ensaios Los Angeles, cujos resultados foram 34,2% (Pedreira 01) e 33,0% (Pedreira 02).

### 3.3.2.4 – Estudo Complementar no Vertedouro

As pesquisas realizadas no estudo complementar têm o intuito de avaliar o material que será escavado no Vertedouro visando utiliza-lo na execução da barragem.

Foram coletadas 06 (seis) 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 e Permeabilidade com carga variável.

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

O Quadro – Estudo Geotécnico apresenta os resumos gerais dos ensaios de caracterização do material do vertedouro e o Quadro Resumo – Coeficiente de Permeabilidade Carga Variável.

Realizou-se uma campanha de investigação geotécnica de subsolo complementar, nos locais discriminados no **Quadro Nº 3.3.8**.

Quadro Nº 3.3.8: Sondagem Complementar			
Local	Sondagem	Coordenadas UTM	
		N (Y)	E (X)
Tomada D'Água	SM-201	9.592.001,1183	476.085,1552
Tomada D'Água	SM-502	9.592.017,8028	475.997,2796
Tomada D'Água	SP-609	9.592.011,6559	476.037,7024
Vertedouro	SP-601	9.591.183,4048	475.927,5611
Vertedouro	SP-602	9.591.243,3074	475.924,1431
Vertedouro	SP-603	9.591.299,8185	475.721,8411
Vertedouro	SP-604	9.591.357,2657	475.739,1563
Vertedouro	SP-605	9.591.380,6229	475.453,7541
Vertedouro	SP-606	9.591.438,0701	475.471,0693
Vertedouro	SP-607	9.591.409,4817	475.358,0087
Vertedouro	SP-608	9.591.466,9289	475.375,3239

A principal finalidade desta campanha complementar é subsidiar a localização definitiva e o detalhamento adequado da estrutura da tomada d'água e do Vertedouro e suas respectivas escavações.

A partir das novas sondagens realizadas, elaborou-se os seguintes perfis geotécnicos do subsolo nos seguintes locais:

- No eixo longitudinal da tomada d'água;
- Nas seções transversais do eixo do canal de aproximação do Vertedouro, próximas às estacas 4 e 5;
- Nas seções transversais do eixo do canal de restituição do Vertedouro, próximas as estacas 30 e 35.

### 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 Melancia possui as seguintes características físicas:

- Bacia Hidrográfica.....136,97km<sup>2</sup>;
- Perímetro da Bacia Hidrográfica.....53,80km;
- Declividade Média da Bacia Hidrográfica.....2,56m/km;
- Comprimento do Rio Principal.....25,00km;
- Fator de Compacidade.....1,30;
- Fator de Forma.....0,22;
- Tempo de Concentração.....7,89h.

#### 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 de 1 minuto.

#### 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 da Melancia 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 Melancia foi adotado o seguinte:

- Método Curva-Número (*Soil Conservation Service*) na determinação da chuva efetiva;

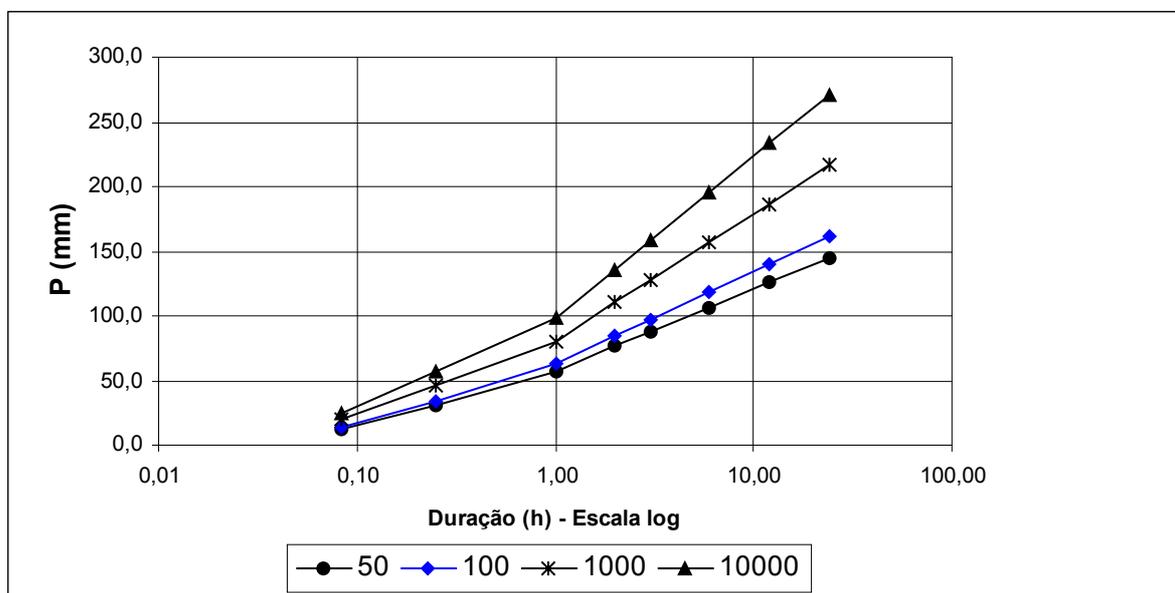
- Método do Soil Conservation Service na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (*Overland flow*);

### 3.4.2.2 – Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia da Melancia, foi considerada 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 REDUZIDAS								
Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 50	13.1	30.6	57.1	76.3	87.5	106.7	125.9	145.0
P(mm) – TR 100	14.5	34.1	63.7	85.0	97.5	118.9	140.3	161.6
P(mm) – TR 1000	19.5	46.5	80.5	110.1	127.5	157.1	186.8	216.4
P (mm) – TR 10000	24.4	57.0	98.1	135.9	157.9	195.7	233.4	271.1



**FIGURA 3.4.1 – CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA**

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 Melancia 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:

- Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. solos arenosos profundos com pouco silte e argilla.
- Solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundo que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.
- Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
- 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 da Melancia tem-se:

$$L = 25.00 \text{ km} \qquad \Delta H = 64 \text{ m} \qquad S = 2.56 \text{ m/km}$$

O que resulta T<sub>C</sub> = 7.89 h; T<sub>LAG</sub> = 4.73 h para a Barragem Melancia.

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

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

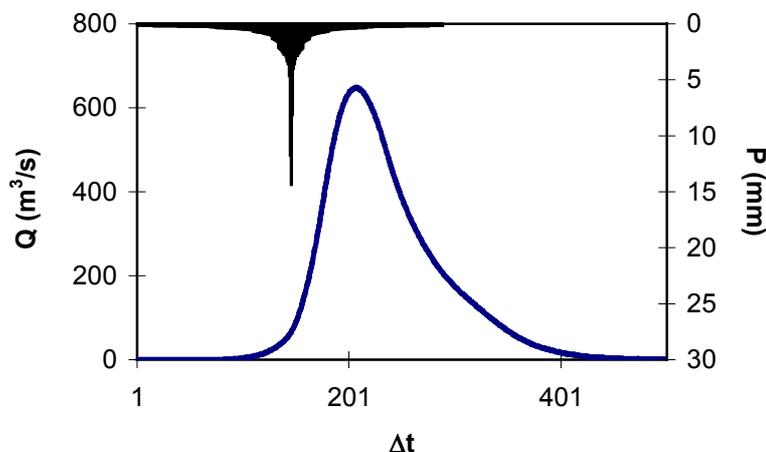
Onde  $Q_p$  = é a vazão de pico ( $m^3/s$ ),  $t_p$  = tempo de pico do hidrograma (h),  $A$  = área da bacia em  $km^2$  e  $\Delta t$  = o intervalo de cálculo (5 minutos).

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

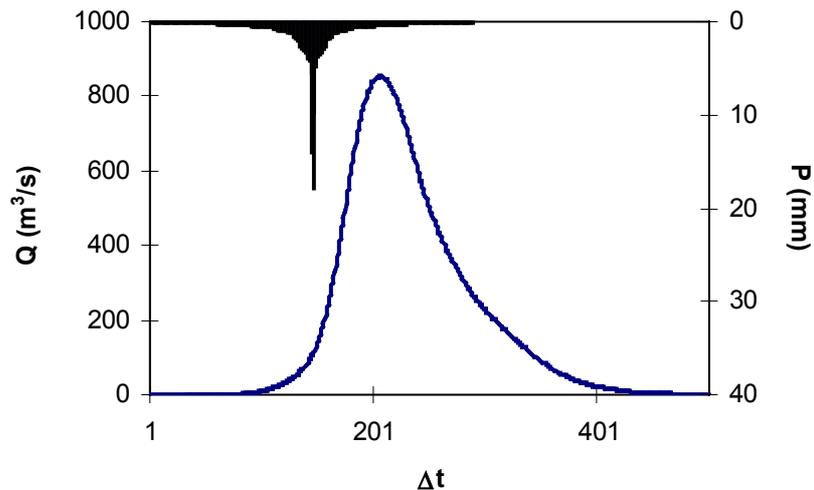
$$t_{lag} = 0.60 T_c \quad e \quad 1.7 t_p = \Delta t + T_c$$

Onde  $T_c$  = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-1 sugere que  $\Delta t \leq 0.29 T_{LAG}$ . 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 Melancia obtido através do uso do modelo HEC, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi  $648 m^3/s$ . Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de  $853 m^3/s$  (**Figura 3.4.3**).



**FIGURA 3.4.2 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO MELANCIA (TR = 1000 ANOS).**



**FIGURA 3.4.3 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO MELANCIA (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:

- Análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Melancia;
- Estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Melancia;

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:

- Solução direta da equação de balanço hídrico;
- 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

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

com

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

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

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

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

## 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: 73,7 mm

- volume afluente médio escoado ( $\mu$ ): 10,09 hm<sup>3</sup>/ano

O coeficiente de variação de CV = 1,20 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,

$$E_L = 0.80 \cdot (142,8+178,2+234,7+256,0+271,0+252,4+239,6)$$

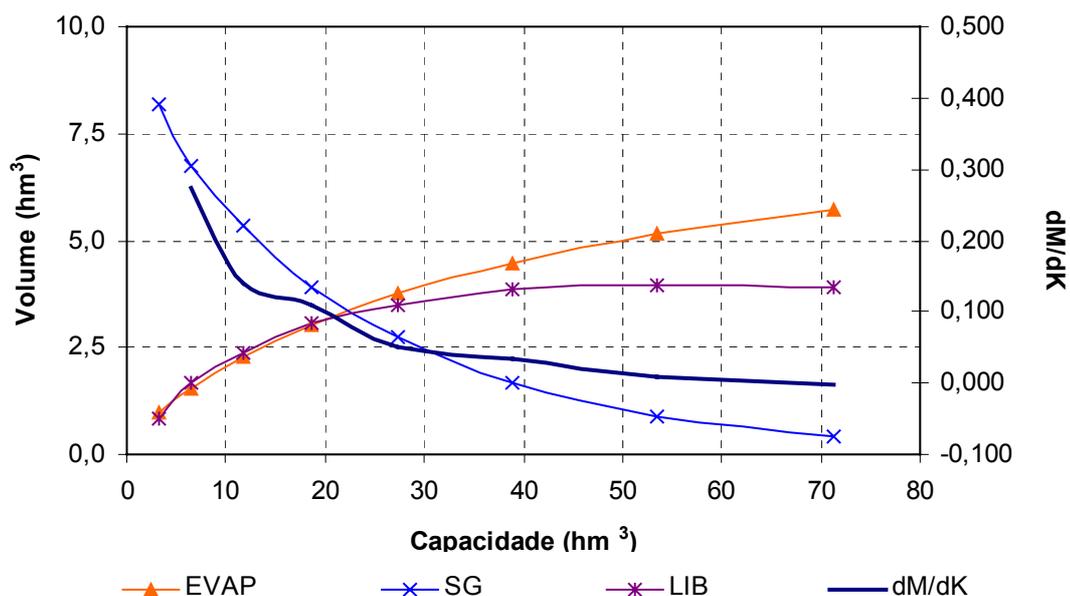
$$= 1259,76 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$\alpha = 5915,8$$

$$f_E = 3 \alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0.32$$

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 Melancia, 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 MELANCIA											
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 (hm3/ano)	dM/dK	Q90 (m3/s)	M90 (hm3/ano)
40	3,2	0,32	8,3	0,833	10,0	0,997	81,7	8,178		0,027	0,859
42	6,6	0,65	16,9	1,691	15,6	1,557	67,6	6,764	0,27	0,056	1,773
44	11,7	1,16	23,8	2,379	22,9	2,294	53,3	5,341	0,14	0,079	2,492
46	18,6	1,84	30,8	3,081	30,0	3,009	39,2	3,926	0,11	0,103	3,250
<b>48</b>	<b>27,4</b>	<b>2,71</b>	<b>35,0</b>	<b>3,505</b>	<b>37,7</b>	<b>3,774</b>	<b>27,3</b>	<b>2,739</b>	<b>0,05</b>	<b>0,117</b>	<b>3,688</b>
50	38,9	3,85	38,4	3,851	44,7	4,485	16,9	1,689	0,03	0,129	4,063
52	53,6	5,31	39,6	3,972	51,4	5,159	9,0	0,901	0,01	0,133	4,188
54	71,3	7,06	39,0	3,913	56,8	5,701	4,3	0,427	0,00	0,131	4,125



**FIGURA 3.4.4 – CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO MELANCIA**

A **Figura 3.4.4** e os dados apresentados no Quadro 3.4.2 sugerem que a partir da cota 48 m (volume em torno de 27 hm<sup>3</sup>) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 35% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 3,505 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 0.117 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 (**Figura 3.4.5**) confirmam os valores obtidos pela solução direta do balanço hídrico.

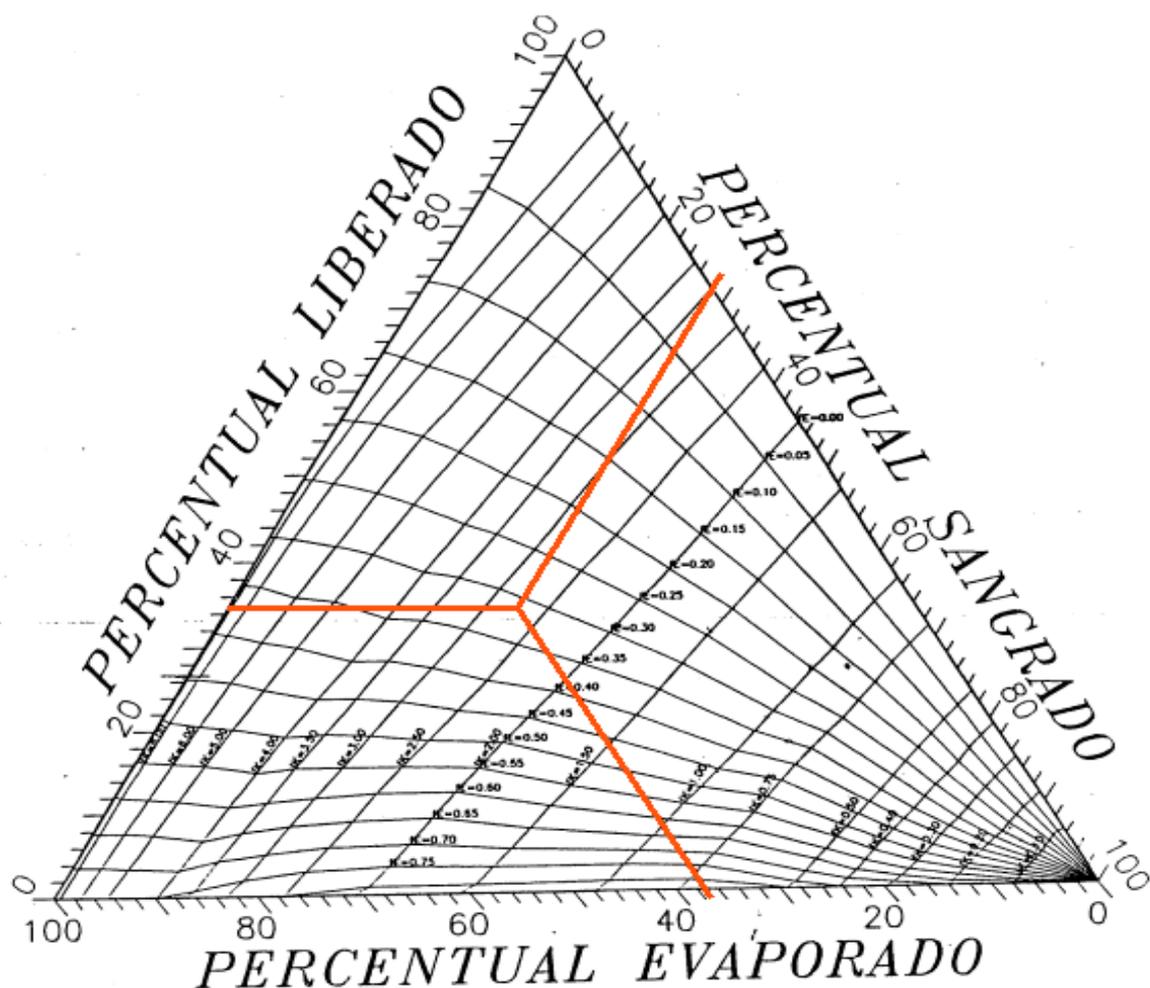
QUADRO 3.4.3 – DISTRIBUIÇÃO DO VOLUME AFLUENTE E QR (90%) PARA O RES. MELANCIA.			
EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m3/s)
3,505 – 35,5%	2,739 – 27,6%	3,774 – 37,7%	0.117

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 MELANCIA.**

### 3.4.4 – Dimensionamento do Vertedouro

Uma vez realizado o dimensionamento do reservatório com base na curva de regulação do reservatório, 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:

1. Determinação do volume inicial  $S_0$  (conforme objetivo do estudo), e a partir deste, determina-se  $Q_0$ ;
2. Calcular o termo direito da equação 2, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS;
3. Com este valor  $(Q_{t+1} + 2 \cdot S_{t+1} / \Delta t)$  é possível obter  $Q_{t+1}$  através de  $Q=h(Q+2S/\Delta t)$  e  $S_{t+1}$  através de  $S_{t+1} = f^{-1}(Q_{t+1})$ ;
4. Repete-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo.

Foi analisado um vertedouro com perfil Creager e 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=48 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.

Foi feito um estudo para determinação do hidrograma da chuva de 48 horas de duração. Verificou-se que a partir das séries de precipitação disponível não houve alteração nos valores de vazão de pico entre as chuvas de 24 horas de duração e 48 horas de duração, sendo mantida as vazões com tempo de retorno de 1.000 anos e 10.000 anos da chuva de 24 horas.

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 hietograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Melancia correspondente ao tempo de retorno  $T_r=1000$  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**.

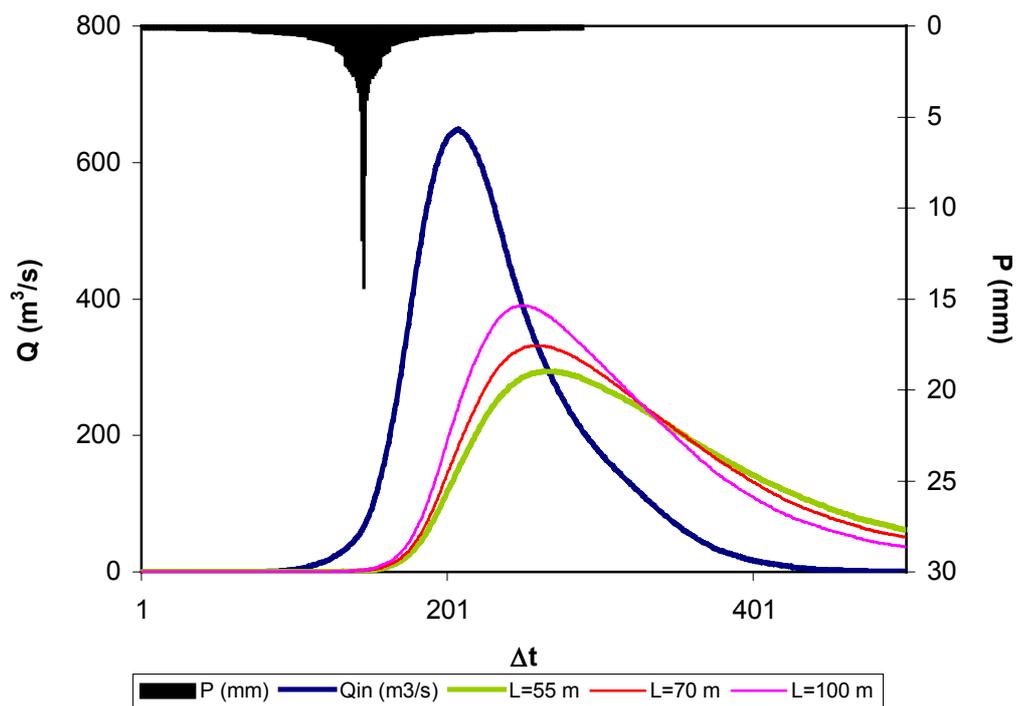
<b>QUADRO 3.4.3 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA</b>			
<b>Cota (m)</b>	<b>Cota de pico (m)</b>	<b>Lâmina (m)</b>	<b><math>Q_{out}</math> (<math>m^3/s</math>)</b>
<b>Tr = 1.000 anos - <math>Q_{in} = 648 m^3/s</math></b>			
<b>Perfil Creager L = 50 m</b>			
48	49,63	1,63	220,00
<b>Perfil Creager L = 55 m</b>			
48	49,90	1,90	294,0
<b>Perfil Creager: L = 70 m</b>			
48	49,70	1,70	331,0
<b>Perfil Creager: L = 100 m</b>			
48	49,50	1,50	390,0
<b>Tr = 10.000 anos - <math>Q_{in} = 853,0 m^3/s</math></b>			
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			
48	50,02	2,02	302,0
<b>Perfil Creager: L = 55 m</b>			
48	50,30	2,30	407,0
<b>Perfil Creager: L = 70 m</b>			
48	50,10	2,10	459,0
<b>Perfil Creager: L = 100 m</b>			
48	49,90	1,90	539,0

L = Largura do Vertedouro

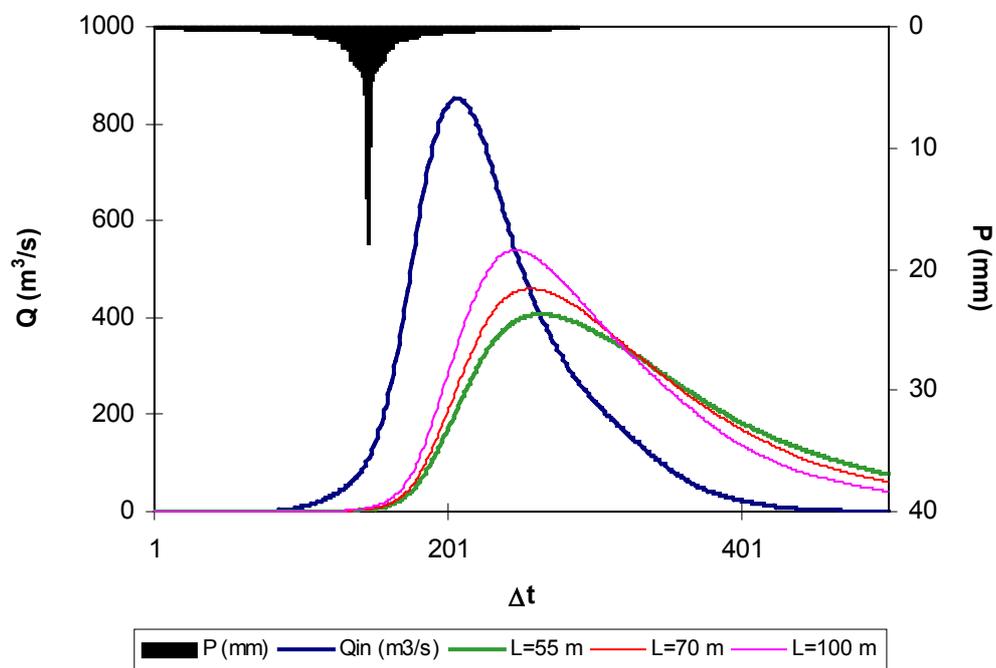
$Z_w$  = cota da soleira do Vertedouro

$Q_{in}$  = Vazão afluente ao reservatório

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



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



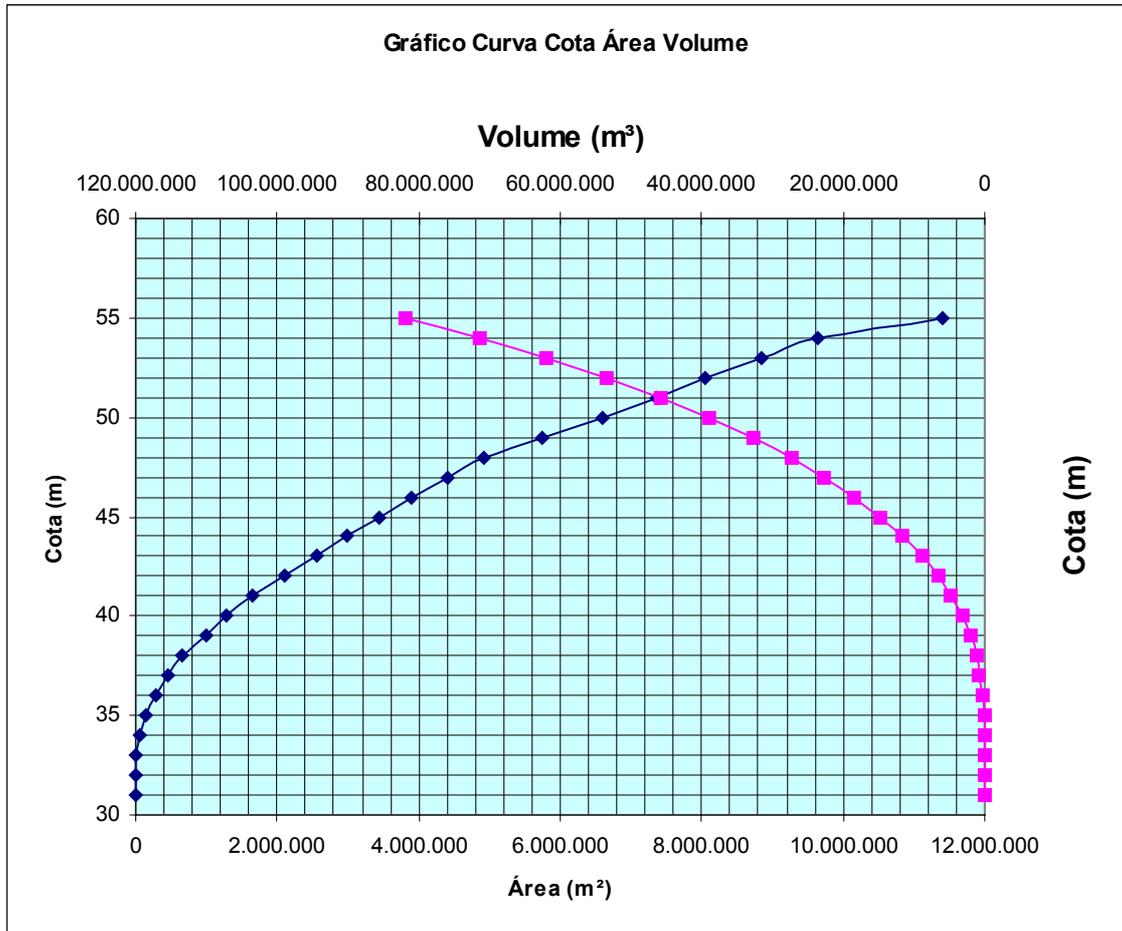
**FIGURA 3.4.7 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO MELANCIA (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER).**

### 3.4.5 – Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos

<b>CARACTERIZAÇÃO DA BACIA</b>	
Área da bacia do Açude Melancia	136,97 km <sup>2</sup>
Perímetro da bacia do Açude Melancia	53,80 km
Declividade Média da bacia do Açude Melancia	2,56 m/km
Comprimento do rio principal	25,00 km
Fator de compacidade	1,30
Fator de forma	0,22
Tempo de concentração	7,89 hrs

<b>ESTUDO DE CHEIAS</b>	
Precipitação Efetiva	SCS
Propagação do Escoamento na Bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	82
Vazão afluente – Tempo de retorno = 1000 anos	648 m <sup>3</sup> /s
Vazão afluente – Tempo de retorno = 10000 anos	853 m <sup>3</sup> /s
<b>CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO</b>	
Capacidade máxima	27,36 hm <sup>3</sup>
Cota da soleira do Vertedouro	48 m
Cota de coroamento	51,00m

## COTA – ÁREA – VOLUME



CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO			
RESOLUÇÃO DIRETA DA EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO – COTA 48 m			
EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m3/s)
3,505 – 35,0%	2,739 – 27,3%	3,774 – 37,7%	0,117

DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO - PERFIL CREAGER: Zw 48,0 m			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q <sub>OUT</sub> (m3/s)
Tr = 1.000 anos - Qin = 648 m³/s			
Perfil Creager: L = 50 m			

48	49,63	1,63	220,0
<b>Tr = 10.000 anos - Qin = 853 m<sup>3</sup>/s</b>			
<b>Perfil Creager: L = 50 m</b>			
48	50,02	2,02	302,0
<b>PROBABILIDADES DE ENCHIMENTO E ESVAZIAMENTO</b>			
<b>RETIRADA ANUAL (HM<sup>3</sup>)</b>		<b>PROBABILIDADES</b>	
3,5		Enchimento = 21% Esvaziamento = 10% Garantia = 90%	

<b>ASSOREAMENTO</b>			
<b>VOLUME INICIAL</b>	<b>PERÍODO SIMULADO</b>	<b>VOLUME FINAL</b>	<b>REDUÇÃO</b>
27,36 hm <sup>3</sup>	100 anos	22,60 hm <sup>3</sup>	17,4%

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

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

Tendo em vista as condições topográficas e geotécnicas do boqueirão bem como a disponibilidade dos materiais para construção foi escolhido a seção mais adequada para essas condições que é uma barragem de terra.

## **5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO**

## **5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO**

No presente capítulo, é apresentado a Memória Descritiva e Justificativa do Projeto da Barragem Melancia 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 VERTEDOURO**

A análise das características dos horizontes de Fundação da Barragem e Vertedouro foi feita com base no exame dos perfis individuais da campanha de sondagens realizadas durante a investigação geotécnica.

#### **5.1.1 – Fundação da Barragem**

Ao longo do eixo da Barragem foram executadas 55 sondagens, sendo 22 sondagens a pá e picareta, 24 a percussão e 09 mista, ou seja, iniciada a percussão e prosseguida com sonda rotativa.

Na ombreira esquerda foram executados os poços a pá e picareta de SPP-01 a SPP-12, as sondagens mistas SM-09 e SM-10 e as sondagens a percussão SP-22 e SP-23. Examinando os perfis dessas sondagens observa-se que existe uma camada superficial, que variou de profundidade nos locais da prospecção, de 0,40m a 1,30m formada por silte arenoso com pedregulhos e seixos rolados, marrom claro. Abaixo

dessa camada encontra-se silte pouco argiloso, pouco micáceo que caracteriza o solo residual de gnaiss. Essa segunda camada atinge profundidades de até 2,00m.

A solução proposta para fundação da Barragem na ombreira esquerda é fazer uma escavação superficial e o cut-off atingir o solo residual de gnaiss.

Na calha do rio foram executadas as sondagens a percussão SP-01 a SP-21 e as sondagens mistas SM-07, SM-08, SM-15, SM-16, SM-17 e SM-18. Examinando os perfis destas sondagens, que estão localizadas entre as estacas 17+10,00 a 26, verifica-se que a camada superficial predominante é de silte arenoso cinza e amarelo com espessura dominante de 1,0m. Foi encontrado, também, areia fina e média siltosa. As camadas inferiores são formadas de silte pouco argiloso e silte arenoso mostrando o solo residual de gnaiss. O impenetrável a percussão foi encontrado em profundidade máxima de 4,16m. Areia grossa foi encontrada só no leito do rio.

A solução de fundação proposta para a Barragem entre as estacas 17 e 26, ou seja, na calha do rio é assentar os espaldares sobre o terreno após a escavação obrigatória e o cut-off dentro do solo residual de gnaiss para garantir que toda lente de areia será retirada.

A ombreira direita foi investigada pelos poços a pá e picareta SPP-13 a SPP-12, pelas sondagens mista SM-01, SM-03 e SM-06. A análise dessas sondagens mostra que existe uma camada superficial de pequena espessura de silte arenoso com pedregulhos que se sobrepõem a uma camada de silte argiloso micáceo que é o solo residual do gnaiss.

A solução proposta para fundação da Barragem na ombreira direita é assentar os espaldares sobre o solo após a escavação obrigatória e o cut-off ser encravado no solo residual de gnaiss.

### **5.1.2 – Fundação do Vertedouro**

No local do Vertedouro foram executadas 14 sondagens, sendo 8 sondagens a percussão e 6 sondagens mistas. Examinando o perfil dessas sondagens verifica-se que existe uma camada de gnaiss decomposto acima da cota 45,00m. Desta forma propõem-se que as estruturas do Vertedouro tais muro creager e muros laterais sejam fundadas na cota 45,00m. Desta forma o canal de escavação será escavado na cota 45,00m.

## **5.2 – REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO**

As sondagens executadas na calha do rio mostraram que não existe camadas

espessas de areias, onde haveria preocupação e necessidade de utilização de sistemas de rebaixamento do lençol freático. As águas que aparecerem na construção poderão ser retiradas simplesmente pela condução destas a pontos mais baixo de reunião e bombeadas para fora.

### 5.3 – GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO

Nos locais onde serão necessários a execução de trincheira de fundação essas serão escavadas a partir do dreno vertical de areia para montante. A escavação descera em talude de 1:1 (V:H) até a profundidade prevista terá uma base menor de no mínimo 8,0m e voltará para o terreno natural em talude de 1:1 (V:H). Portanto a geometria do cut-off é em forma de trapézio com base menor de 8,0m e base maior variável dependendo d profundidade de escavação.

### 5.4 – LOCAL DE BOTA-FORA

Os materiais excedentes das escavações obrigatórias serão colocados para dentro do lago ocupando espaço abaixo da curva de nível 32,00m.

### 5.5 – TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES

Examinando os ensaios de perda d'água em rocha LUGEON verifica-se que apenas entre o trecho 0,50 e 2,50m da sondagem SM-08, foram observados perdas específicas acima de 1,0l/min/m/atm nos demais trechos ensaiados as perdas específica foram muito baixa ou nulos.

Por esta razão não será recomendado a execução de uma cortina de injeção de calda de cimento para tratamento das fundações da barragem.

### 5.6 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Para construção da Barragem foram estudada as jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04, os areais A-01 e A-02 e as pedreiras P-01 e P-02. Além dessas ocorrências dispõem, ainda, de um volume de 328.000m<sup>3</sup> das escavações obrigatórias do Vertedouro.

As jazidas J-01 e J-02 são formadas de solos do tipo areia argilosa e são bem indicadas para construção de núcleos impermeabilizantes já as jazidas J-03 e J-04 são constituídas de solos areno siltosos que servem para serem usados nas zonas de jusante da Barragem.

Os materiais do vertedouro são formados por saprolitos de gnaiss e rochas sã. Portanto é esperado que esses materiais serão aproveitados nas zonas de jusante e na construção do rock-fill.

## 5.7 – CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DA BARRAGEM

A Barragem foi concebida após contemplar as características dos materiais disponíveis e da topografia do boqueirão. As características deste último, boqueirão bem aberto, fez com que se declinasse para a escolha de uma barragem de terra. Os volumes das escavações obrigatória do Vertedouro influíram na escolha do tipo de maciço, desta forma foi concebida uma seção tipo formada no espaldar de montante cut-off com solos das jazidas J-01 e J-02 e o espaldar de jusante com solos das escavações obrigatória do Vertedouro e jazidas J-03 e J-04 se necessário.

A barragem ficará com coroamento na cota 51,00m e soleira na cota 48,00m, reservando nesta cota 27,36hm<sup>3</sup>.

A barragem terá 6,0m de largura do coroamento com caimento de 2% para montante. A camada final com 30cm de espessura será executada com cascalho argiloso ou produto de britagem. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios com abertura para montante.

A barragem foi concebida com seção de terra utilizando materiais das escavações das jazidas. Os materiais das escavações do Vertedouro não está previsto ser utilizado na composição do maciço.

O maciço foi concebido com taludes de montante e jusante com inclinação de 1:2 (V:H). A seção máxima ficou localizada na estaca 21. A altura máxima já levando em conta a escavação obrigatória é de 20,63m. A seção máxima pode ser vista no Desenho I-2-ME-11/35-010.

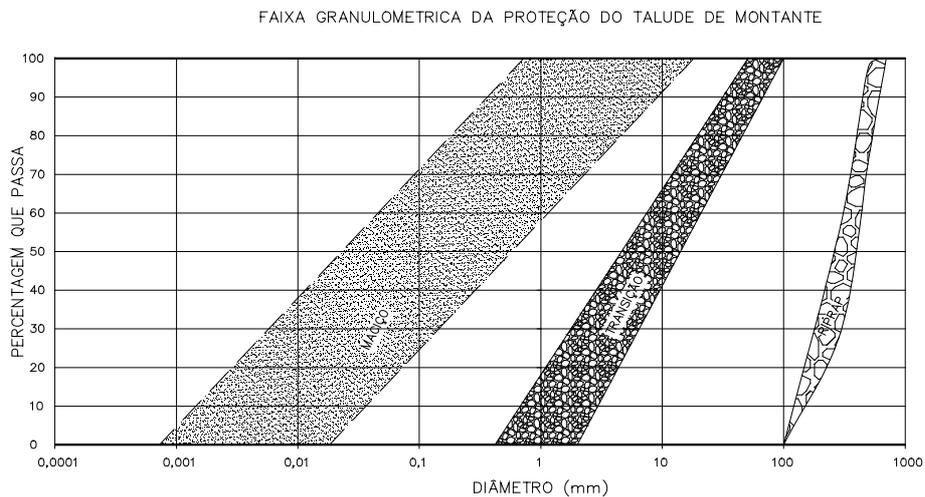
No talude de jusante foi previsto a construção de uma berma na cota 41,00m com 2,0m de largura.

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 blocos de rocha sã que serão assentes sobre uma camada de transição. O rip-rap terá 0,70m de espessura e a transição terá 0,20m de espessura. A camada de transição será formada por produto de britagem.

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

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

QUADRO Nº5.2: MATERIAL DE TRANSIÇÃO	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
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)	-

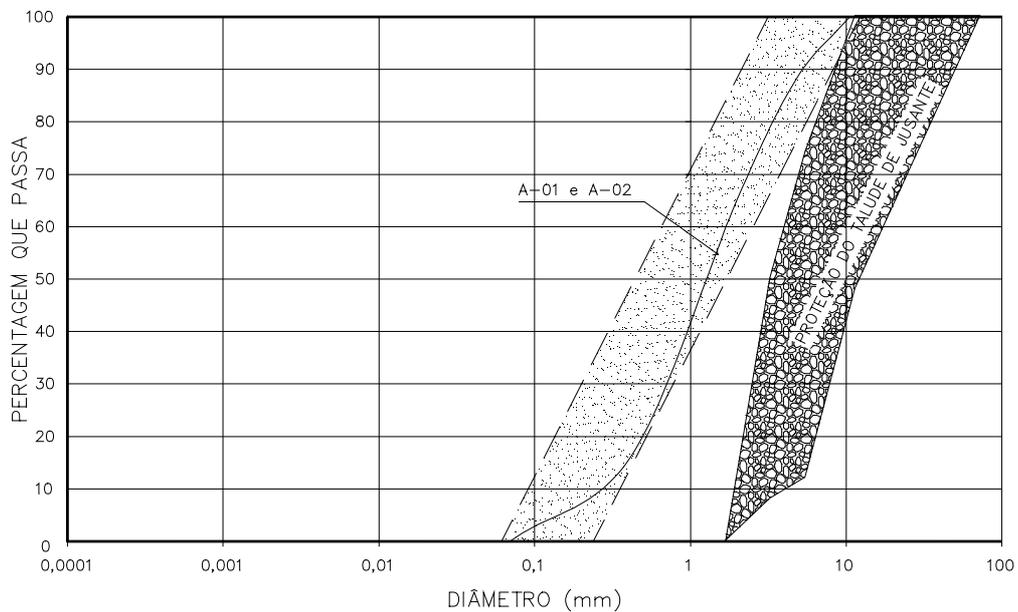


**GRÁFICO Nº 5.1**

O talude de jusante será protegido com uma camada de material granular com 30cm de espessura que será obtido do produto de britagem. As características desse material são mostradas no **Quadro Nº 5.3**, a seguir:

QUADRO Nº 5.3: MATERIAL DE PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
300mm	100
1" (25,4mm)	48-100
3/8" (9,5mm)	14-74
Nº4 (4,76mm)	8-50
Nº10 (2,00mm)	-

CURVA GRANULOMETRICA DO AREAL E DA PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE



**GRÁFICO Nº 5.2**

O sistema de drenagem interna da barragem é formado pelos seguintes componente:

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

O filtro vertical de areia e o tapete horizontal terão 1,0m de espessura, serão executados com areia dos areais A-01 e A-02. O topo do filtro vertical ficará com nível da cheia decamilenar, ou seja, cota 49,96m.

O tapete horizontal será construído entre as estacas 06 e 33 numa extensão de 540m. Entre as estacas 05 e 07 o tapete é parcial não se estendendo até o pé de jusante.

O filtro vertical e o tapete horizontal serão construídos com material apresentando as seguintes características.

O rock-fill será executado entre as estacas 09 e 33. O rock-fill nas interface com a fundação e o maciço da barragem é dotado de camadas de filtro que são formados com areia de rio e uma brita produzida que é denominada de brita "A". No miolo do maciço ele é formado por pedra de mão.

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

<b>QUADRO Nº 5.4: AREIA GROSSA</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
3/8" (9,5mm)	95-100
Nº4 (4,76mm)	5-40
Nº10 (2,00mm)	0-21
Nº40 (0,42mm)	-
Nº200 (0,075mm)	-

<b>QUADRO Nº 5.5: BRITA "A"</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
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)	-

<b>QUADRO Nº 5.6: ENROCAMENTO DO ROCK-FILL</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
300mm	100

QUADRO Nº 5.6: ENROCAMENTO DO ROCK-FILL	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
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)	-

CURVA GRANULOMETRICA DO AREAL E DA PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE

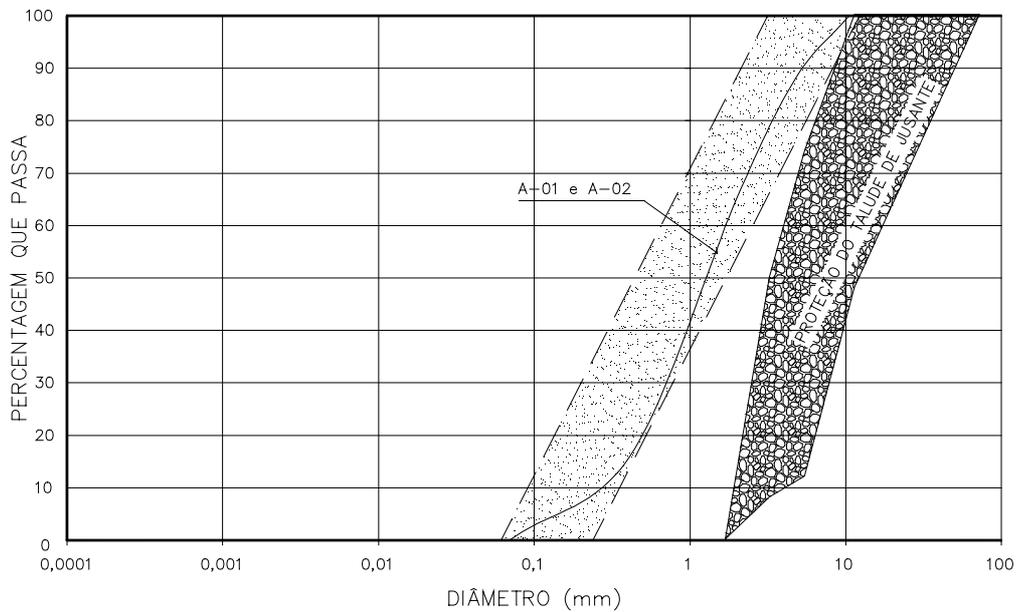
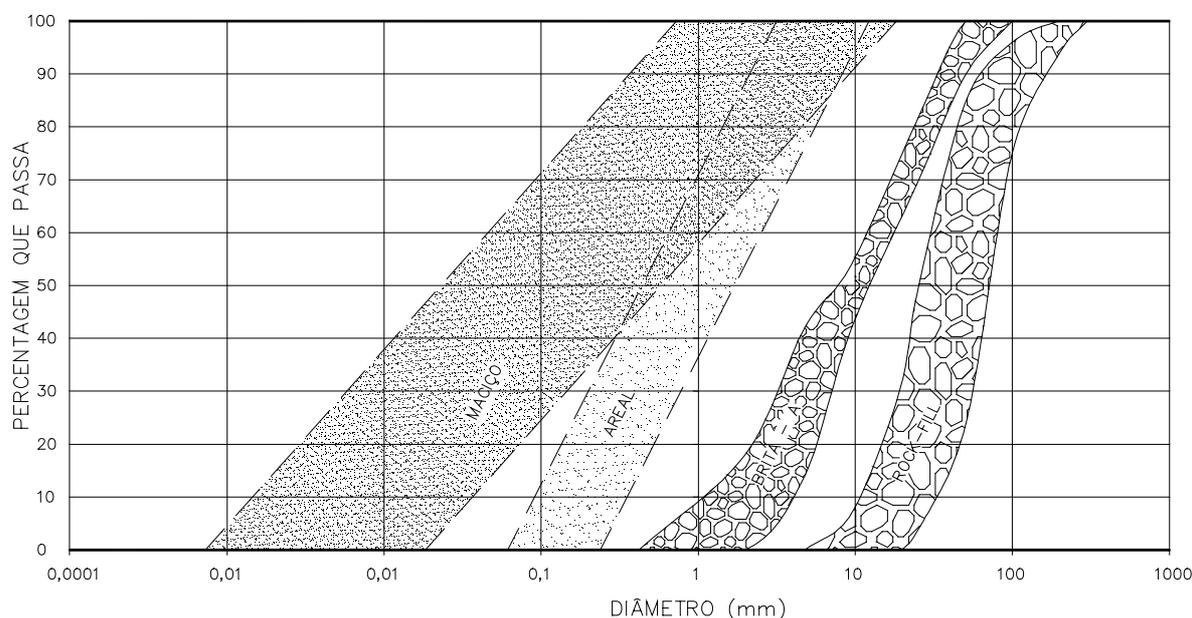


GRÁFICO Nº5.3

#### FAIXA GRANULOMETRICA DA DRENAGEM INTERNA



**GRÁFICO Nº5.4**

O rock-fill do pé de jusante é um enrocamento com forma trapezoidal formado por uma berma externa ao talude de jusante com 2,0m de largura e taludes de 1:1,5 (V:H). No caso da barragem Melancia o enrocamento terá altura variável e a cota da berma é fornecida nos desenhos das seções do eixo barrável que pode ser visto nos Desenhos I-2-ME-13/35-010 a I-2-ME-20/35-010.

Os detalhes construtivos do rock-fill podem ser visto no Desenho I-2-ME-11/35-010.

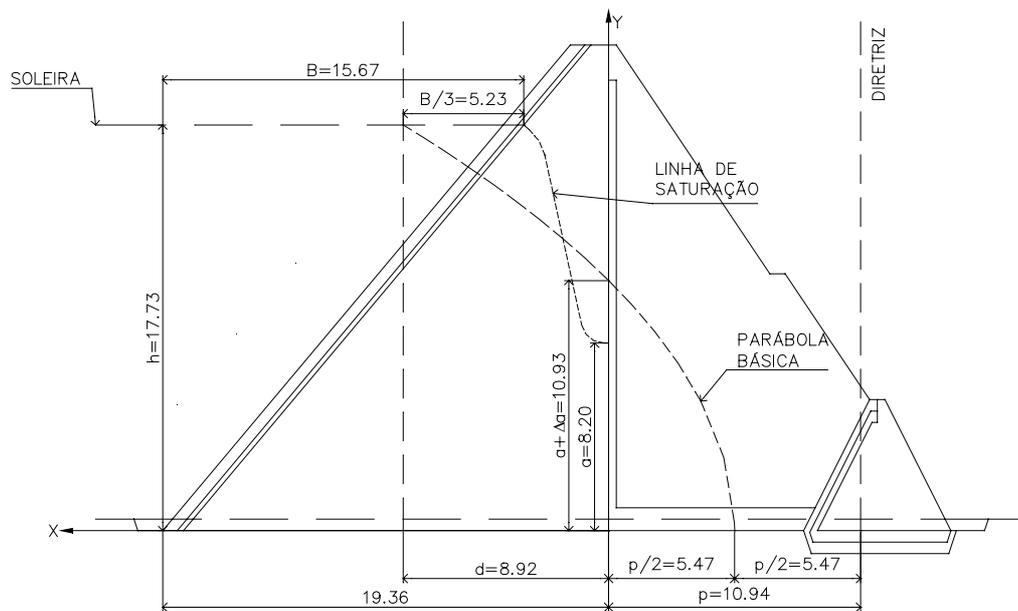
A barragem foi dotada de uma tomada d'água formada de uma galeria tubular de  $\phi=300\text{mm}$  que será construída na estaca 29 com a cota do eixo do tubo ficando na 35,00m. A localização da tomada d'água pode ser vista no Arranjo Geral, Desenho I-2-ME-04/35-010.

#### 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 cartesiano  $x$  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:



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:

$$Q_M = K \cdot P$$

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

$$\text{Para: } K_y = 4,8 \times 10^{-9} \text{ m / s e } p = 11,70 \text{ m}.$$

$$Q_M = 1,63 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

A vazão pela fundação é formada pelas águas que percolam pelo cut-off e abaixo do cut-off. Devido a impermeabilidade do maciço abaixo do cut-off considerou-se apenas as águas que passam pelo cut-off considerou-se, ainda, que toda a carga será perdida no cut-off. Logo a vazão pela fundação será dada pela expressão:

$$Q_F = K \cdot I \cdot A$$

Onde:

$$K = \sqrt{K_y \cdot K_x} = \text{Vazão do maciço de fundação (m/s)}$$

$$I = \text{Gradiente hidráulico (m/m)}$$

$$A = h \times 1,0 = \text{Área normal ao fluxo (m}^2/\text{m)}$$

$$h = \text{Profundidade do cut-off na seção examinada (m)}$$

O gradiente hidráulico é obtido através da relação entre a carga hidráulica e o comprimento médio percolado  $L$ .

$$\text{Para: } \Delta H = 17,73 \text{ m e } L = 14,00 \text{ m}.$$

Obtem-se:

$$i = \frac{17,73}{14,00} = 1,26 \text{ m / m}$$

$$\text{Para } K = 1,17 \times 10^{-8} \text{ m / s}$$

Obtem-se:

$$Q_F = 1,17 \times 10^{-8} \times 1,26 \times 4,0 \times 1,0$$

$$Q_F = 5,80 \times 10^{-8} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

## 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 Melancia 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.

- Final de Construção – taludes de montante e jusante;
- Reservatório Cheio (a longo prazo) – talude de jusante;
- 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 0,10.

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 nº 5.7** 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)	$R_u$
Riprap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço (Espaldar de Montante)	20,6	14,0	32,6°	0,10
Maciço (Espaldar de Jusante)	20,0	6,0	33,4°	0,10
Filtro/Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00

### 5.9.1 – Método Bishop 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:

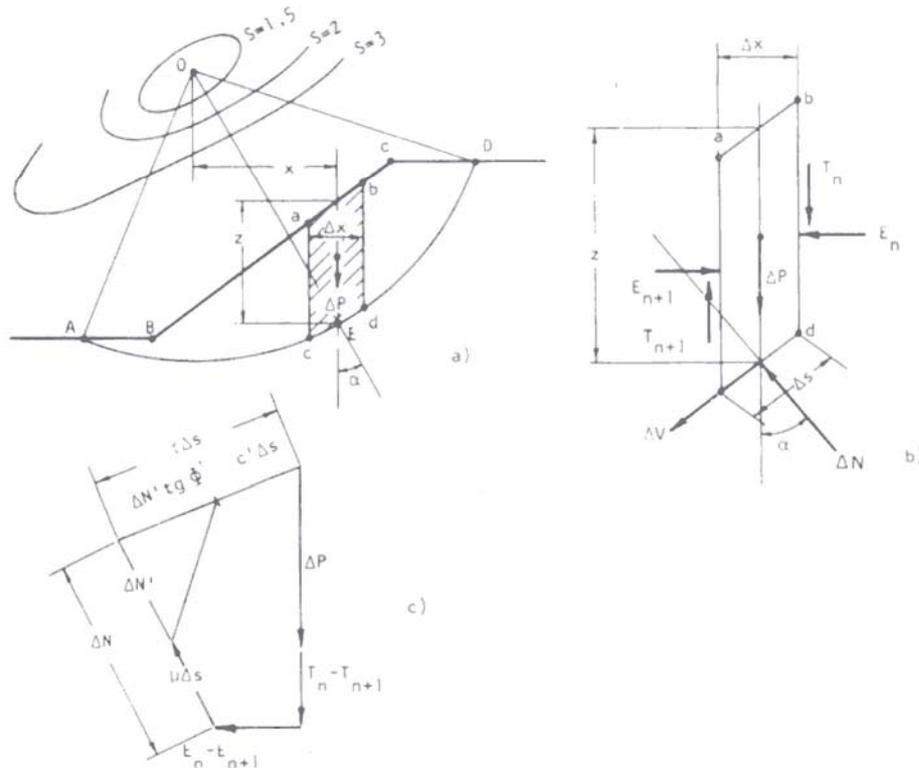
$$S = \frac{1}{\sum \Delta P \sec \alpha} \times \sum \cdot C' \cdot \Delta X + tg \phi' \cdot \Delta P (1 - \bar{B}) \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{tg \phi' \cdot tg \alpha}{S_0}}$$

Onde:

$C'$  = coesão efetiva.

$\phi'$  = 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:

- **Coefficiente 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 neutra, 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 cômoda. 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.

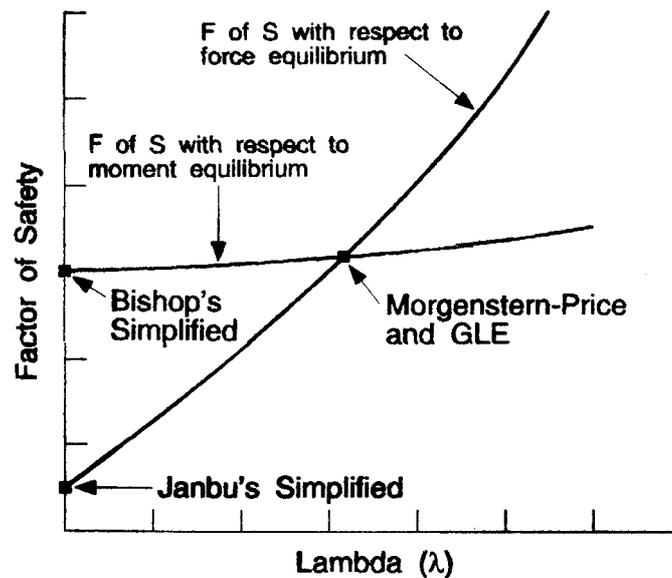
#### 5.9.2.8 – Apresentação dos Resultados

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 Nº: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 Nº 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 nº 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	1,925	1,792	1,652
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,732	1,667	1,611
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,732	1,667	1,604
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,695	1,244	1,147

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

#### b) Análise Sísmica

Os cálculos efetuados para simular um abalo sísmico foram feitos considerando o corpo da barragem como rígido, sendo que a caracterização da Sísmica se dá através do valor da aceleração máxima esperada na fundação. Esta é considerada constante ao longo do perfil da barragem. Este procedimento é adequado tendo em vista a pequena sísmicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no **Quadro N° 5.9**:

QUADRO N°5.9: ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ABALO SÍSMICO				
SIMULAÇÃO	C.S. MÍNIMO	SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO		
		SUPERFICIAL	INTERMEDIÁRIA	PROFUNDA
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,620	1,416	1,321
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,381	1,322	1,282
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,381	1,322	1,279
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,362	1,003	1,049

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 86,00m 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 35,00m. O corpo do tubo será envolvido em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de  $0,134\text{m}^3/\text{s}$  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 48,00m e 38,00m, onde os volumes são de  $27,36\text{hm}^2$  que corresponde a 100% de capacidade e  $1,27\text{hm}^3$  que corresponde a 4,6% 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 – VERTEDOIRO

O Vertedouro da barragem Melancia foi apresentado na reunião do 50º Painel de Consultores como sendo previsto a ser construído pela ombreira esquerda. Tendo em vista que a restituição para o leito do rio terá um desnível de cerca de 16,0m, o painel

em sua reunião 51ª solicitou a possibilidade de deslocá-lo para a ombreira direita. Para tanto foi feita uma sondagem na estaca 53, denominada de SM-101A.

Examinando essa sondagem verifica-se que a cota do terreno natural está na 49,03m. Entre essa cota e a cota 37,62m foi encontrado solo basicamente silte areno argiloso. A rocha, gnaisse muito duro, foi encontrado abaixo dessa cota. Como a soleira da barragem está prevista para a cota 48,00m, verifica-se que haveria a necessidade de construir um muro com mais de 10,00m de altura.

Por essa razão o Consórcio Projetista decidiu apresentar a opção de Vertedouro na ombreira esquerda como já havia sido mostrada na reunião 50ª, otimizando a geometria do canal de aproximação, alinhando-o com o talvegue próximo, de modo a diminuir os volumes de escavação.

Desta forma, o Vertedouro será implantado na ombreira esquerda a qual apresenta uma cobertura de solo sobre uma espessa camada de gnaisse decomposto. A topografia do local do Vertedouro apresenta um relevo suave que atinge a cota máxima na altitude 56,00m.

O topo rochoso é encontrado por volta da cota 45,00m e como a soleira da Barragem foi estabelecida na cota 48,00m com acumulação de 27,36hm<sup>3</sup>, observa-se que tornou-se necessário o projeto de um perfil creager fundado na cota 44,50m. Projetou-se também uma bacia de dissipação com 16,00m de extensão o ressalto hidráulico ocorra dentro de uma área protegida. A bacia terá uma espessura de 0,50m e será fixada ao maciço rochoso por chumbadores passivo de aço CA-50 de  $\phi=25,0\text{mm}$  que terá 5,0m de ancoragem.

Na saída da bacia está previsto a execução de um muro com 1,0m de altura, com 0,20m de soleira e talude para jusante de 1:2 (V:H). Esse muro tem um redente que é encravado até a cota 44,00.

A partir da topografia do local do Vertedouro foi escolhido um eixo ao longo do fluxo montante/jusante para ser escavado o canal. Esse eixo de referência foi estaqueado de 20 em 20 metros da estaca zero, à montante, até a estaca 41+10,07m.

O eixo tem uma curva de concordância circular com os seguintes elementos:

$$AC = 40^{\circ} 00' 00''$$

$$T = 36,397 m$$

$$R = 100,00 m$$

$$D = 69,813 m$$

$$PC = 10 + 3,11$$

$$PT = 13 + 12,92$$

O projeto do canal foi executado utilizando o soft TOPOGRAPH. A partir do terreno obtido do Modelo Digital e da largura da base inferior e das informações dos taludes obtem-se a linha de off-set de escavação. A largura do canal foi de 50,00m. Tendo em vista a necessidade de implantação dos muros laterais foi feita uma transição entre as estacas 20 e 21 onde a largura passa de 50,00m para 70,00m. Entre as estacas 21 e 24 a largura permanece com 70,00m. Entre as estacas 24 e 25 é feita nova transição passando da largura de 70,00m para 50,00.

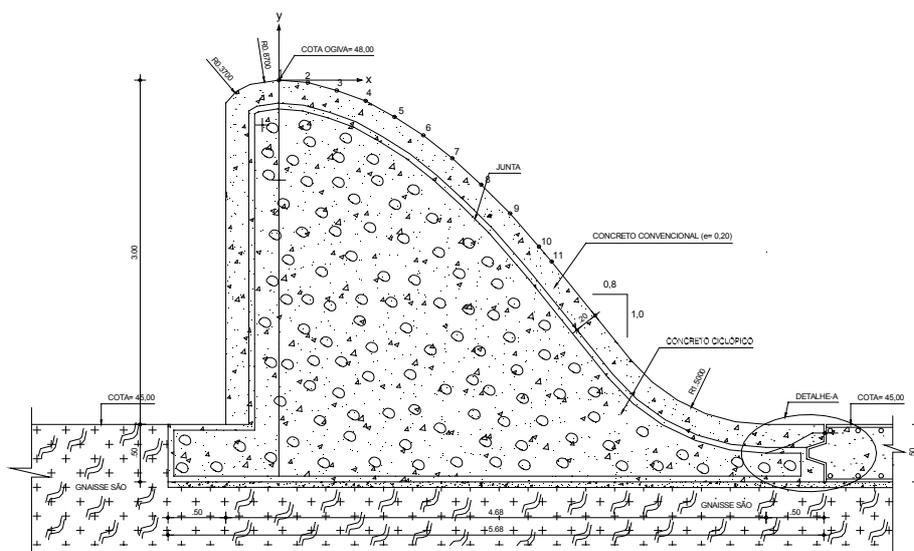
O volume previsto para essa escavação será de 205.330m<sup>3</sup>, sendo 97.640m<sup>3</sup> de solo e 107.690m<sup>3</sup> de rocha. A escavação de solo deverá ser aproveitado na zona de jusante do maciço da barragem. Os volumes de material de solo e rocha foram inferidos a partir das sondagens geotécnicas de subsolo realizados na área.

Tendo em vista que o canal do Vertedouro desenvolveu-se em rocha fraturada de consistência média foram programados e executados dois furos de sondagem mista a 100m e 330m a jusante do perfil creager para identificar as características do material que servirão como superfície de escoamento das águas de sangria.

As estruturas do Vertedouro são compostas do perfil creager, da bacia de dissipação e dos muros laterais que serão de concreto massa.

O perfil dos muros laterais inicia a montante com 1,0 metro de altura, ou seja, na cota 46,00m, prossegue-se para jusante nessa cota por 2,50m. Em seguida sobe em talude 1:2,0 (V:H) até atingir a cota 51,00m. Nessa cota prossegue-se por 10,00m. Em seguida entra em talude 1:2 (V:H) até atingir a cota 48,50m. Nessa cota ele prossegue por 10,93m.

O perfil do muro creager foi calculado pelo procedimento recomendado pelo "Bureau of Reclamation os Small Dams". A crista da ogiva ficará na cota 48,00m, conforme a figura abaixo:



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

- A parte curva a esquerda da origem é formado pela concordância de duas curvas circulares de Raio  $R_1$  e  $R_2$ ;
- 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  $\frac{h_a}{H_0}$ .

- O 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.



A equação do perfil de jusante do muro será exponencial do tipo:

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

Com  $K$  e  $n$  obtidos dos ábacos da publicação "Designer of Small Dams" do Bureau of Reclamation.

Para  $\frac{h_a}{H_0} = 0,03$ , obtém-se:

$$K = 0,503$$

$$n = 1,86$$

O perfil curvo de jusante se estende desde do ponto de coordenadas (0,0) até o ponto onde a inclinação da curva seja -1,25 (1:0,8 V:H). A partir deste ponto o perfil segue ao longo dessa tangente até a curva de concordância no pé do muro.

Os pontos do perfil de jusante são obtidos aplicando a equação da curva.

O ponto de tangente é obtido igualando-se a derivada da curva a -1,25, como segue:

$$\frac{y}{1,68} = -0,503 \times \left( \frac{x}{1,68} \right)^{1,86}$$

$$y = -0,321 \cdot (x)^{1,86}$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,597 \cdot x^{0,86}$$

Fazendo:  $\frac{dy}{dx} = -1,25$ , obtém-se:

$$-1,25 = -0,597 \cdot x^{0,86}$$

$$x_T = 2,09^{1,162}$$

$$x_T = 2,36m$$

$$y_T = -1,58$$

A tabela abaixo dá os pontos da curva:

X	Y
0,00	0,00
0,25	-0,02
0,50	-0,09
0,75	-0,18
1,00	-0,32
1,25	-0,48
1,50	-0,68
1,75	-0,91
2,00	-1,16
2,25	-1,45
2,36	-1,58

A concordância do paramento vertical com o ponto da origem é feito por duas curvas circulares com os seguintes dados, obtidos dos ábacos em função da relação

$$\frac{h_a}{H_0} = 0,03.$$

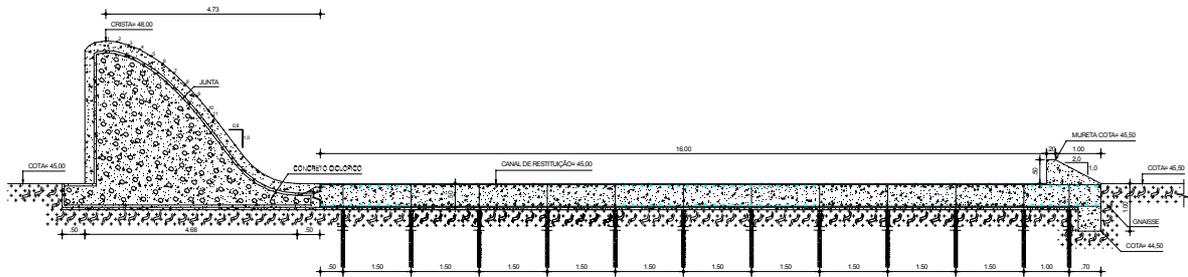
$$\frac{x_c}{H_0} = 0,273 \Rightarrow x_c = 0,46m$$

$$\frac{y_c}{H_0} = 0,117 \Rightarrow y_c = 0,20m$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,52 \Rightarrow R_1 = 0,87m$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,22 \Rightarrow R_2 = 0,37m$$

### 5.11.2 – Bacia de Dissipação



$$E_1 = E_2$$

$$E_2 = d_1 + \frac{V_1^2}{2g}$$

$$q = V_1 \cdot d_1 \therefore V_1 = \frac{q}{d_1}$$

$$E_2 = d_1 + \frac{q^2}{2g \cdot d_1^2}$$

$$E_1 = 4,68$$

$$q = 4,40$$

Resolvendo a igualdade:

$$E_1 = E_2$$

Obtem-se:

$$4,68 = d_1 + \frac{0,98}{d_1^2}$$

Resolvendo a equação por iteração, obtem-se:

$$d_1 = 0,48m$$

A velocidade na entrada da bacia:

$$V_1 = \frac{4,40}{0,48} = 9,16 \text{ m / s}$$

O número de Froude na entrada da bacia é:

$$F_{R1} = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot d_1}} = \frac{9,16}{\sqrt{9,81 \cdot 0,48}} = 4,22$$

A altura conjugada será de:

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

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left[ \sqrt{1 + 8 \times 4,22^2} - 1 \right]$$

$$d_2 = 0,48 \times 5,48 = 2,63$$

O comprimento da bacia de dissipação será:

$$\frac{L}{y_2} = 6 \text{ (obtido de Ábacos do Bureau)}$$

$$L = 6 \times 2,63 = 15,78 \text{ m}$$

Adotar uma bacia de 16m.

### 5.11.3 – Dimensionamento dos Chumbadores

Para o dimensionamento dos chumbadores foi considerado a água no nível normal, ou seja, cota 48,00 e saturação do maciço de jusante.

A carga máxima é de **3,0tf / m<sup>2</sup>**. A malha entre os chumbadores é de 1,50m x 1,50m, portanto, a carga máxima no chumbador é de **6,75tf**.

A capacidade do chumbador é dada pela expressão:

$F = \pi \times D_d \times L_s \times |C' + (\gamma \times h + \Delta P) \times \text{tg}\phi|$ , 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 Melancia é composto dos seguintes desenhos, como discriminados no **Quadro N° 5.10**:

QUADRO N° 5.10: RELAÇÃO DOS DESENHOS	
DESENHO N°	DESCRIÇÃO
I-2-ME-01/35-010	Bacia Hidráulica
I-2-ME-02/35-010	Estudos Topográficos e Locação dos Eixos
I-2-ME-03/35-010	Perfil Longitudinal do Eixo Barrável
I-2-ME-04/35-010	Arranjo Geral das Obras
I-2-ME-05/35-010	Perfil do Eixo Barrável, Seção do Vertedouro e Perfil da Tomada D'Água
I-2-ME-06/35-010	Planta de Locação dos Furos de Sondagem
I-2-ME-07/35-010	Perfil Geológico do Eixo Barrável, do Eixo Vertedouro e do Eixo da Tomada D'Água
I-2-ME-08/35-010	Perfis Geológico das Seções de Montante e Jusante do Eixo Barrável e do Canal do Vertedouro
I-2-ME-09/35-010	Perfil das Seções Geológica do Vertedouro
I-2-ME-10/35-010	Planta de Locação das Ocorrências e Resumo dos Ensaios de Laboratório
I-2-ME-11/35-010	Seção Máxima e Detalhes
I-2-ME-12/35-010	Seções Tipo da Barragem

<b>QUADRO Nº 5.10: RELAÇÃO DOS DESENHOS</b>	
<b>DESENHO Nº</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
I-2-ME-13/35-010	Seções Transversais – (01/08)
I-2-ME-14/35-010	Seções Transversais – (02/08)
I-2-ME-15/35-010	Seções Transversais – (03/08)
I-2-ME-16/35-010	Seções Transversais – (04/08)
I-2-ME-17/35-010	Seções Transversais – (05/08)
I-2-ME-18/35-010	Seções Transversais – (06/08)
I-2-ME-19/35-010	Seções Transversais – (07/08)
I-2-ME-20/35-010	Seções Transversais – (08/08)
I-2-ME-21/35-010	Planta e Perfil da Escavação do Vertedouro
I-2-ME-22/35-010	Vertedouro – Escavação – Seções 01 a 11
I-2-ME-23/35-010	Vertedouro – Escavação – Seções 12 a 17
I-2-ME-24/35-010	Vertedouro – Escavação – Seções 18 a 22
I-2-ME-25/35-010	Vertedouro – Escavação – Seções 23 a 29
I-2-ME-26/35-010	Vertedouro – Escavação – Seções 30 a 36+17,50
I-2-ME-27/35-010	Detalhes do Vertedouro
I-2-ME-28/35-010	Muros do Vertedouro
I-2-ME-29/35-010	Escavação da Tomada D'Água – Planta, Perfil, Seção Tipo e Transversais
I-2-ME-30/35-010	Seção da Tomada D'Água e Detalhes
I-2-ME-31/35-010	Caixa de Montante e Caixa de Dissipação da Tomada D'Água – Fôrma
I-2-ME-32/35-010	Armadura da Caixa Dissipadora da Tomada D'Água
I-2-ME-33/35-010	Ferragem da Caixa de Montante e Galeria da Tomada D'Água
I-2-ME-34/35-010	Drenagem Superficial – Planta
I-2-ME-35/35-010	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 Melancia.

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:**

Quadro N° 6.1: Canteiro de Obra	
Item	Descrição
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 Nº 7.1 e 7.2**:

<b>Quadro Nº 7.1: Relação dos Equipamentos do Laboratório</b>		
<b>Item</b>	<b>Especificação</b>	<b>Quant. Mínima</b>
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

<b>Quadro Nº7.2: Equipamento Mínimo</b>		
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quant. Mínima</b>
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
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

**Quadro Nº7.2: Equipamento Mínimo**

<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quant. Mínima</b>
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