

BARRAGEM MELANCIA

MÓDULO IV – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM
VOLUME I – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO
TOMO 3 – MEMÓRIA DE CÁLCULO

JULHO DE 2006

ÍNDICE

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| APRESENTAÇÃO | 5 |
| 1 – INTRODUÇÃO | 9 |
| 2 – CÁLCULO DA FOLGA | 11 |
| 3 – CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO | 13 |
| 4 – CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO | 15 |
| 5 – ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES..... | 17 |
| 6 – DIMENSIONAMENTO DO RIP-RAP | 20 |
| 7 – DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA | 25 |
| 7.1 – VAZÃO PELO MACIÇO..... | 26 |
| 7.2 – VAZÃO PELA FUNDAÇÃO | 27 |
| 8 – DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL..... | 31 |
| 9 – DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL..... | 33 |
| 10 –ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS DO ROCK-FILL | 36 |
| 11 – ANÁLISE DA ESTABILIDADE | 39 |
| 11.1 – MÉTODO BIHOP SIMPLIFICADO..... | 40 |
| 11.2 – PROGRAMA SLOPE/W | 41 |
| 11.2.1 – Método de Análise | 42 |
| 11.2.2 – Geometria e Estratigrafia | 42 |
| 11.2.3 – Superfície de Escorregamento..... | 42 |
| 11.2.4 – Pressão Neutra | 42 |
| 11.2.5 – Propriedade do Solo..... | 43 |
| 11.2.6 – Definição do Problema..... | 44 |
| 11.2.7 – Resolução do Problema..... | 44 |

| | |
|--|-----------|
| 11.2.8 – Apresentação dos Resultados | 45 |
| 11.2.9 – Formulário..... | 45 |
| 11.3 – RESULTADOS OBTIDOS | 46 |
| 12 – COTA DO VOLUME MORTO | 74 |
| 13 – TOMADA D'ÁGUA..... | 76 |
| 13.1 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA GALERIA..... | 77 |
| 14 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO | 83 |
| 14.1 – PERFIL CREAGER | 86 |
| 14.2 – DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DISSIPAÇÃO..... | 89 |
| 14.3 – DIMENSIONAMENTO DOS CHUMBADORES | 90 |
| 15 – QUANTITATIVOS DO PROJETO..... | 93 |

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 Aduadoras 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 Aduadoras

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

Módulo II: Estudos Básicos, Anteprojetos e Avaliações

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Relatório Geral – Textos

TOMO 2 – Estudos Hidrológicos

TOMO 3 – Estudos Cartográficos

TOMO 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

TOMO 5 – Estudos Pedológicos

VOLUME II: Anteprojetos

TOMO 1 – Relatório de Concepção Geral

TOMO 1A – Desenhos e Plantas

TOMO 1B – Memória de Cálculo

VOLUME III: Avaliações Financeiras e Econômicas

TOMO 1 – Relatório de Avaliações Financeira e Econômica

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

VOLUME I: EIA

VOLUME II: RIMA

Módulo IV: Projeto Executivo da Barragem

VOLUME I: Detalhamento do Projeto Executivo

TOMO 1 – Memorial Descritivo do Projeto

TOMO 2 – Desenhos do Projeto

TOMO 3 – Memória de Cálculo

TOMO 4 – Especificações Técnicas

TOMO 5 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 6 – Síntese

Módulo V: Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I: Levantamento Cadastral

TOMO 1 – Relatório Geral

TOMO 2 – Laudos Individuais de Avaliação

TOMO 3 – Levantamentos Topográficos

VOLUME II: Plano de Reassentamento

TOMO 1 – Relatório Final do Reassentamento

Módulo VI: Projeto Executivo das Adutoras

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Levantamentos Topográficos

TOMO 2 – Investigações Geotécnicas

VOLUME II: Anteprojeto

VOLUME III: Detalhamento do Projeto Executivo

TOMO 1 – Memorial Descritivo

TOMO 2 – Memória de Cálculo

TOMO 3 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medições

Módulo VII: Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME I: Manuais de Operação e Manutenção

O presente relatório que trata da **Barragem Melancia**, aqui nomeado como Volume I – Detalhamento do Projeto Executivo, **Tomo 3 – Memória de Cálculo**, é parte integrante do Módulo IV – Projeto Executivo da Barragem.

1 – INTRODUÇÃO

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

Neste volume que corresponde ao TOMO 3 do VOLUME I é apresentada a Memória de Cálculo.

Este relatório foi desenvolvido os seguintes capítulos.

- Cálculo de Folga;
- Cálculo da Cota de Coroamento;
- Cálculo da Largura do Coroamento;
- Escolha da Inclinação dos Taludes;
- Dimensionamento do Rip-rap;
- Determinação da Linha Freática;
- Dimensionamento do Filtro Vertical;
- Dimensionamento do Tapete Horizontal;
- Especificações dos Materiais do Rock-Fill;
- Análise da Estabilidade;
- Cota do Volume Morto;
- Dimensionamento do Vertedouro.

2 – CÁLCULO DA FOLGA

2 – CÁLCULO DA FOLGA

A borda livre da Barragem Melancia foi verificada considerando os hidrogramas afluentes obtidas com chuvas de duração de dois dias, com tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos e a ação de ventos a partir dos níveis resultantes no amortecimento, estimada pelo Método de Saville (1963).

Segundo Saville, a velocidade do vento a 10 m de altura sobre a água (V_{10}) é 30% maior do que a velocidade do vento sobre a Terra. Para o cálculo da altura de onda (H_s), adota-se o fator de 0,44, correspondente à velocidade da água geradora da onda. Desta forma, a fórmula da altura de onda, introduzindo o fator de correção V_{10} e o valor da aceleração da gravidade (g), obtém-se:

$$H_s = 2,25 \times 10^{-4} \cdot V_{10} \cdot F^{1/2}$$

Onde:

H_s = altura da onda (m);

V_{10} = velocidade do vento a 10 m a superfície da água (m/s);

F = fetch (m).

Adotou-se $V_{10} = 80 \text{ km} / \text{h} = 22,22 \text{ m} / \text{s}$ da Barragem Melancia. No **Quadro Nº 2.1** é mostrado o resultado da bomba livre pelo estudo dos ventos na cheia decamilenar da Barragem Melancia.

| QUADRO Nº 2.1: VERIFICAÇÃO DA BOMBA LIVRE PELO ESTUDO DOS VENTOS DA BARRAGEM MELANCIA | | | | | | |
|---|-----------|-----------------|-------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|
| FETCH (km) | H_s (m) | NA (normal) (m) | CHUVA 2 DIAS NA (1.000) | CHUVA 2 DIAS NA (10.000) | COROAMENTO (m) | BORDO LIVRE (m) |
| 6,74 | 0,41 | 48,00 | 49,96 | 49,96 | 51,00 | 0,63 |

Analisando o **Quadro Nº 2.1** verifica-se que o bordo livre é de 0,60 m, no caso da cheia de 10.000 anos como recomendado na 50ª PISB.

Portanto, a folga com relação a cheia milenar é de $f=1,37\text{m}$.

3 – CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO

3 – CÁLCULO DA COTA DO COROAMENTO

A cota do Coroamento da Barragem é dada pela expressão:

$$C_c = C_s + L + F$$

Onde:

C_c = Cota do Coroamento.

C_s = Cota da Soleira = 48,00m.

L = Lâmina vertente na cheia milenar = 1,63m.

f = folga = 1,37m.

$$C_c = 48,00 + 1,63 + 1,37 = 51,00m.$$

Adotar 51,50m

Verificação para a cheia decamilenar.

$$C_c - C_{10.000}$$

Onde:

$C_{10.000}$ = Cota da cheia decamilenar = 48,00+1,96=49,96m.

$$C_c - C_{10.000} = 51,00 - 49,96 = 1,04m \geq 0,50m \Rightarrow OK!$$

Adotou-se a cota de coroamento $C_c = 51,00m$.

4 – CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO

4 – CÁLCULO DA LARGURA DO COROAMENTO

Adotando-se a fórmula de Preece à seção de maior altura tem-se:

$$L_c = 1,10\sqrt{H_b} + 0,9(m)$$

Onde:

L_c = Largura da barragem (m);

H_b = Altura da barragem (m).

Para a seção da Estaca 21 tem $H_b = 20,73m$ e
 $L_c = 1,10 \times \sqrt{20,73} + 0,90 = 5,91m$, foi adotado $L_c = 6,0m$.

5 – ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES

5 – ESCOLHA DA INCLINAÇÃO DOS TALUDES

A fixação dos taludes foi resultado de análise da estabilidade. Entretanto foi necessário se fazer uma escolha inicial para em seguida se fazer a análise de estabilidade.

O Bureau of Reclamation sugere as inclinações de taludes, reproduzidas no **Quadro N° 5.1:**

| QUADRO N° 5.1: INCLINAÇÃO DOS TALUDES – BUREAU OF RECLAMATION | | | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|
| CASO | SUJEITO A ESVAZIAMENTO RÁPIDO | CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS | MONTANTE | JUSANTE |
| A | NÃO | GW, GP, SW, SP | Permeável, não adequado | |
| | | GC, GM, SC, SM | 2,5:1 | 2:1 |
| | | CL, ML | 3:1 | 2,5:1 |
| | | CH, MH | 3,5:1 | 2,5:1 |
| B | SIM | GW, GP, SW, SP | Permeável, não adequado | |
| | | GC, GM, SC, SM | 3:1 | 2:1 |
| | | CL, ML | 3,5:1 | 2,5:1 |
| | | CH, MH | 4:1 | 2,5:1 |

Terzaghi apresentou, para efeito de Projeto, as inclinações aconselháveis que são mostrados no **Quadro N° 5.2:**

| QUADRO N° 5.2: INCLINAÇÃO DOS TALUDES - TERZAGHI | | |
|--|----------|---------|
| TIPO DE MATERIAL | TALUDES | |
| | MONTANTE | JUSANTE |
| Seção Homogênea – Solo bem graduado | 1:2,5 | 1:2 |
| Seção Homogênea – Silte grosso | 1:3 | 1:2,5 |
| Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura menor que 15m | 1:2,5 | 1:2 |
| Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura maior que 15m | 1:3 | 1:2,5 |
| Areia ou Pedregulho e Areia com núcleo de argila | 1:3 | 1:2,5 |
| Areia ou Pedregulho com cortina de concreto armado | 1:2,5 | 1:2 |

O engenheiro Paulo Teixeira da Cruz em sua obra 100 Barragens Brasileiras sugere os seguintes taludes preliminares que são mostrados no **Quadro N° 5.3:**

| QUADRO Nº 5.3: INCLINAÇÃO DOS TALUDES – PAULO T. CRUZ | | |
|--|------------------------------------|------------------------------------|
| TIPO DE MATERIAL | MONTANTE | JUSANTE |
| Solos Compactados | 2:5(H) : 1,0(V) 3,0(H) : 1,0(V) | 2:0(H) : 1,0(V) |
| Solos Compactados Argilosos | 2:0(H) : 1,0(V) 3,0(H) : 1,0(V) | 2:0(H) : 1,0(V) 2,5(H) : 1,0(V) |
| Solos Compactados Siltosos | 3,5(H) : 1,0(V) | 3,0(H) : 1,0(V) |
| Enrocamentos | 1:3(H) : 1,0(V) 1,6(H) : 1,0(V) | 1:3(H) : 1,0(V) 1,6(H) : 1,0(V) |

Os solos das Jazidas são do tipo SC ou do tipo SM, portanto analisando as tabelas juntamente com os materiais que serão usados na construção adotou-se para análise os taludes de montante e jusante com inclinação de 1:2 (V:H) usando um multiplicador da aceleração da gravidade de 1,05 para verificação da análise sísmica.

6 – DIMENSIONAMENTO DO RIP-RAP

6 – DIMENSIONAMENTO DO RIP-RAP

Bourdeaux (1979) recomenda um rip-rap com as seguintes características, quando a altura de onda for 1,20m.

$$D_{50\%} = 0,38 \text{ m}$$

$$P_{\text{máx}} = 680 \text{ kg}$$

$$\text{Esp.} = 0,61 \text{ m}$$

Será adotado um rip-rap de espessura de 0,70m.

a) Os blocos empregados na construção do rip-rap devem ter no mínimo 50% de pedras com peso igual a:

$$P_{50\%} = 0,52 \cdot \gamma \cdot e^3$$

Onde:

$P_{50\%}$ = Peso do bloco de rocha que compõem 50% do rip-rap (tf);

γ = Peso específico da rocha = 2,50 tf/m³;

e = Espessura do rip-rap em (m).

Portanto tem-se:

$$P_{50\%} = 0,52 \times 2,5 \times 0,70^3 = 0,45 \text{ tf}$$

b) Os blocos de enrocamento do rip-rap devem ter no mínimo 50% de pedras com o diâmetro igual a:

$$D_{50\%} = \left(\frac{P_{50\%}}{0,75\gamma} \right)^{1/3}$$

Onde:

$D_{50\%}$ = diâmetro do bloco de rocha que compõem 50% do rip-rap

Logo:

$$D_{50\%} = \left(\frac{0,45}{0,75 \times 2,50} \right)^{1/3} \therefore D_{50\%} = 0,62 \text{ m}$$

c) O diâmetro e o peso do bloco mínimo:

$$P_{min} = 0,25P_{50\%} = 0,25 \times 0,45 \therefore P_{min} = 0,11tf$$

$$D_{min} = \left(\frac{P_{min}}{0,75\gamma} \right)^{1/3} = \left(\frac{0,11}{0,75 \times 2,50} \right)^{1/3} \therefore D_{min} = 0,39 \text{ m}$$

d) O diâmetro e o peso máximo do bloco.

$$P_{máx} = 4P_{50\%} = 4 \times 0,45 \therefore P_{máx} = 1,80tf$$

$$D_{máx} = \left(\frac{P_{50\%}}{0,75\gamma} \right)^{1/3} = \left(\frac{1,80}{0,75 \times 2,50} \right)^{1/3} \therefore D_{máx} = 0,98 \text{ m}$$

Como $D_{máx}$ calculado foi maior do que a espessura, será adotado $D_{máx} = e = 0,70 \text{ m}$. Assim sendo:

$$P_{máx} = 0,75\gamma D_{máx}^3 = 0,75 \times 2,50 \times (0,70)^3 \therefore P_{máx} = 0,64tf$$

Segundo Cruz (1996), a espessura mínima da transição em enrocamentos sem finos deve ser, em função da altura de onda de:

| ALTURA DE ONDA (m) | ESPESSURA TRANSIÇÃO (m) |
|--------------------|-------------------------|
| 0,00 – 1,20 | 0,15 |
| 1,20 – 2,40 | 0,25 |
| 2,40 – 3,00 | 0,30 |

Adotou-se a espessura de transição de 0,20m.

O rip-rap será assente sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura obtida de produto de britagem, atendendo aos seguintes requisitos:

- Material filtrante x Solo Compactado

$$(D_{15})_{filtro} \leq 5 \times (D_{85})_{solo}$$

- Material filtrante x Rip-rap

Bourdeaux (1979) recomenda: $25 \text{ mm} < (D_{85})_{filtro} < 5 / \text{mm}$ e $0,2 \text{ mm} < D_{min} < 0,6 \text{ mm}$.

- Apresentar curvas granulométricas aproximadamente paralelas.

A faixa granulométrica do solo compactado do maciço foi obtida pela média aritmética dos resultados dos ensaios de granulometria por peneiramento e dos ensaios de granulometria por sedimentação realizados em amostras das jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04.

Tem-se:

$$(D_{15})_{\text{maciço}} = 0,001\text{mm}$$

$$(D_{85})_{\text{maciço}} = 1,5\text{mm}$$

Com essas informações, e recorrendo-se ao traçado das curvas granulométricas obtém o material de transição que deve ser produzido de britagem de rochas de pedreira.

| QUADRO Nº 6.1: 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) | - |

O material do rip-rap deve ser produzido com a seguinte granulometria:

| QUADRO Nº 6.1: MATERIAL DO ENROCAMENTO DO RIP-RAP | |
|---|---|
| PENEIRA | FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA) |
| 700mm | 100 |
| 500mm | 74-98 |
| 300mm | 4-58 |
| 100mm | - |

Na **Figura Nº 6.1** é apresentado a curva granulométrica do maciço, da transição e do rip-rap.

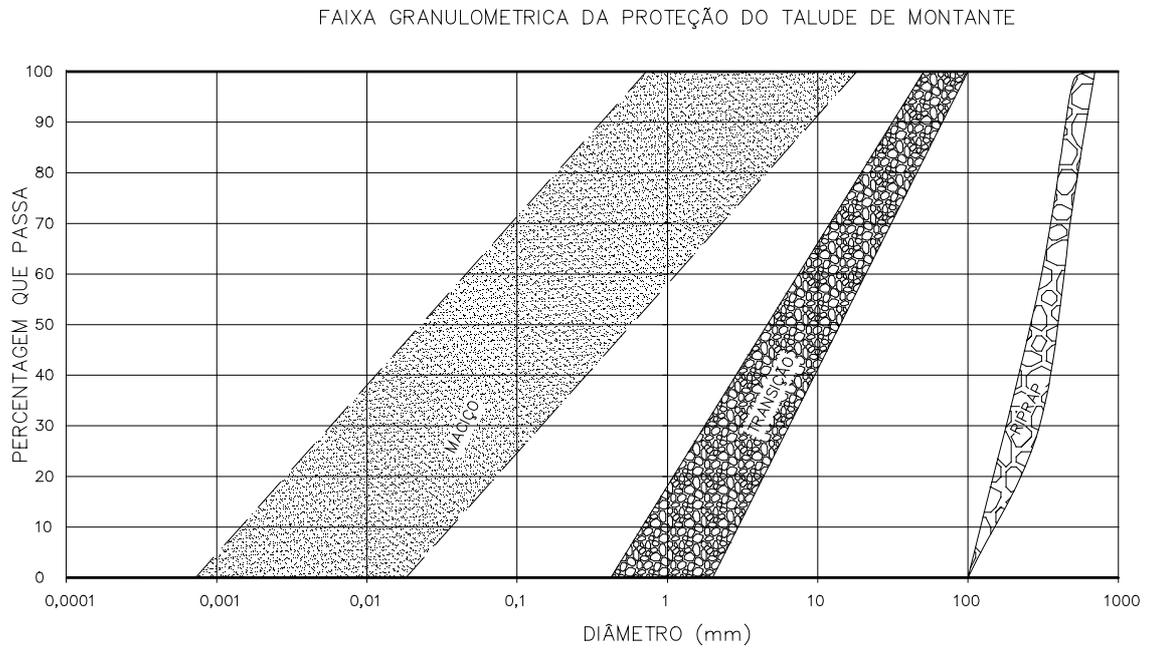


FIGURA Nº 6.1

7 – DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA

7 – DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA

O fluxo d'água através do corpo da barragem de terra é limitado superiormente por uma linha de percolação, denominada linha de saturação. Para o traçado da linha de saturação teórica, utilizou-se a teoria de KOZENY, dado pela expressão:

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

Admitindo o problema de anisotropia, admitiu-se a redução da escala horizontal antes do traçado da linha de saturação e da rede de fluxo, na relação 3 (três), ou seja, a relação entre a permeabilidade horizontal e a permeabilidade vertical é igual a 9. Desta forma:

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

Na **Figura Nº 7.1** é apresentado a linha de saturação na escala transformada.

Para a construção da parábola básico, utilizando a teoria de KOZENY, seguiu-se a seguinte marcha de cálculo:

$$B = 15,67, d = 8,92, h = 17,73$$

$$p = \sqrt{h^2 + d^2} - d = \sqrt{17,73^2 + 8,92^2} - 8,92 \therefore p = 10,93$$

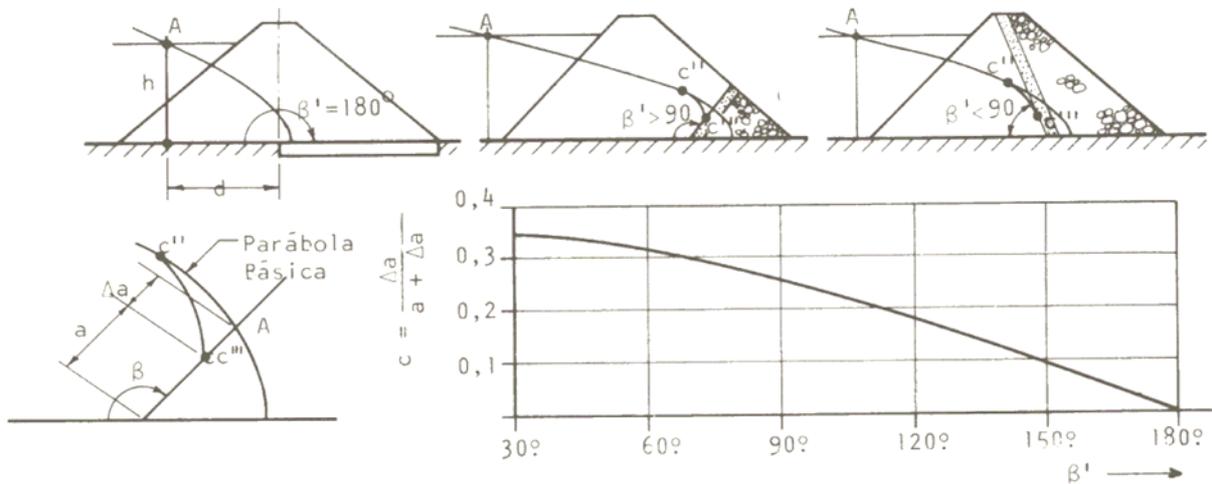
$$\text{Parábola básica: } \sqrt{x^2 + y^2} - x = p \therefore y^2 = (x + p)^2 - x^2$$

$$y^2 = (x - 10,93)^2 - x^2$$

| LINHA DE SATURAÇÃO TEÓRICA | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|------|-------|
| PONTO | x | y | PONTO | x | y |
| 1 | -5,46 | 0,33 | 9 | 2,00 | 12,77 |
| 2 | -5,00 | 3,19 | 10 | 3,00 | 13,60 |
| 3 | -4,00 | 5,66 | 11 | 4,00 | 14,38 |
| 4 | -3,00 | 7,34 | 12 | 5,00 | 15,13 |
| 5 | -2,00 | 8,70 | 13 | 6,00 | 15,83 |
| 6 | -1,00 | 9,88 | 14 | 7,00 | 16,51 |
| 7 | 0,00 | 10,93 | 15 | 8,00 | 17,16 |
| 8 | 1,00 | 11,89 | 16 | 8,92 | 17,73 |

A concordância da linha de saturação no lado de montante é feita a sentimento, notando-se que ela é normal ao talude de montante, pois este, abaixo do N.A, é uma linha equipotencial.

A interceptação da linha de saturação no filtro vertical é mais baixo que o ponto onde a parábola teórica atinge o filtro. A correção da entrada da linha freática no filtro é dado por:



Desta forma:

$$\frac{\Delta a}{a + \Delta a} = 0,25 \therefore \Delta a = 0,25(a + \Delta a)$$

Como $\Delta a + a = 10,93$, tem-se:

$$\Delta a = 0,25 \times 10,93 \therefore \Delta a = 2,73$$

Logo: $a = 8,20$

A concordância da entrada da linha freática no filtro é traçada a sentimento.

7.1 – VAZÃO PELO MACIÇO

A partir da linha de saturação associada à parábola teórica de KOZENY e fazendo as correções de contorno, pode-se determinar a vazão por metro de Barragem pela expressão:

$$q = K_E \cdot Q$$

Os coeficientes de permeabilidade vertical, obtido nos ensaios de permeabilidade de carga variável do maciço, são:

| COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE VERTICAL | | | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| JAZIDA | J-01 | J-02 | J-03 | J-04 | MÉDIA |
| K (cm/s) | $2,0 \times 10^{-7}$ | $7,5 \times 10^{-7}$ | $4,0 \times 10^{-5}$ | $1,0 \times 10^{-4}$ | $3,5 \times 10^{-5}$ |

O coeficiente de permeabilidade vertical adotado será a média dos valores médios encontrados nas jazidas J-01 e J-02. Assim sendo, $K_V = 4,8 \times 10^{-7} \text{ cm / s}$.

A abscissa na escala transformada é 1/3 da abscissa na escala natural. Como a relação entre as abscissas deve ser igual à raiz quadrada da relação dos coeficientes de permeabilidade, tem-se:

$$\sqrt{\frac{K_V}{K_H}} = \frac{1}{3} \therefore \frac{K_V}{K_H} = \frac{1}{9}$$

$$K_H = 9K_V = 9 \times 4,8 \times 10^{-7}$$

$$K_H = 4,3 \times 10^{-6} \text{ cm / s}$$

O coeficiente equivalente do meio anisotrópico é igual à média granulométrica dos coeficientes nas duas direções, logo:

$$K_E = \sqrt{K_V \cdot K_H} = \sqrt{(4,8 \times 10^{-7}) \cdot (4,3 \times 10^{-6})}$$

$$K_E = 1,4 \times 10^{-6} \text{ cm / s}$$

$$K_E = 1,4 \times 10^{-8} \text{ m / s}$$

Desta forma, a vazão pelo maciço, por um metro de largura de Barragem é:

$$q = (1,4 \times 10^{-8} \text{ m / s}) \cdot (8,20)$$

$$q = 1,1 \times 10^{-7} \text{ m / s} \cdot \text{m}$$

7.2 – VAZÃO PELA FUNDAÇÃO

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:

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

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

Obtem-se:

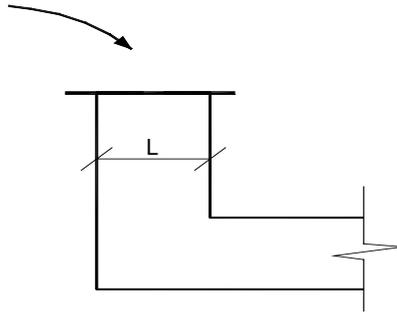
$$Q_F = 1,17 \times 10^{-8} \times 1,26 \times 4,0 \times 1,0$$

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

Entra FIGURA N° 7.1

8 – DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL

8 – DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL



$$Q = K \cdot i \cdot A$$

$$A = L \times 1,0m$$

$$i = 1,0$$

Como o filtro vertical será construído com areia grossa, o seu coeficiente de permeabilidade adotado foi $K = 1,0 \times 10^{-3} \text{ cm} / \text{s} \therefore (1,0 \times 10^{-5} \text{ m} / \text{s})$. A vazão pelo maciço é de $1,1 \times 10^{-7} \text{ m} / \text{s} / \text{m}$ Logo:

$$Q = K \cdot i \cdot L$$

$$L = \frac{Q}{K \cdot i} = \frac{1,1 \times 10^{-7}}{1,0 \times 10^{-5} \times 1,0} \therefore L = 0,01m$$

Adotou-se $L = 1,0m$ por questões construtivas, principalmente porque indica-se a construção do filtro através da escavação de camada de solo já executada.

O material do filtro vertical atende aos seguintes requisitos de Bertram (1940):

$$1) \frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{85}(\text{maciço})} < 4 \therefore \frac{0,42 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}} = 0,28 < 4 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$2) \frac{D_{15}(\text{filtro})}{D_{15}(\text{maciço})} > 5 \therefore \frac{0,42 \text{ mm}}{0,001 \text{ mm}} = 420 \gg 5 \Rightarrow \text{OK!}$$

As curvas granulométricas são apresentadas na **Figura N°10.1**.

9 – DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL

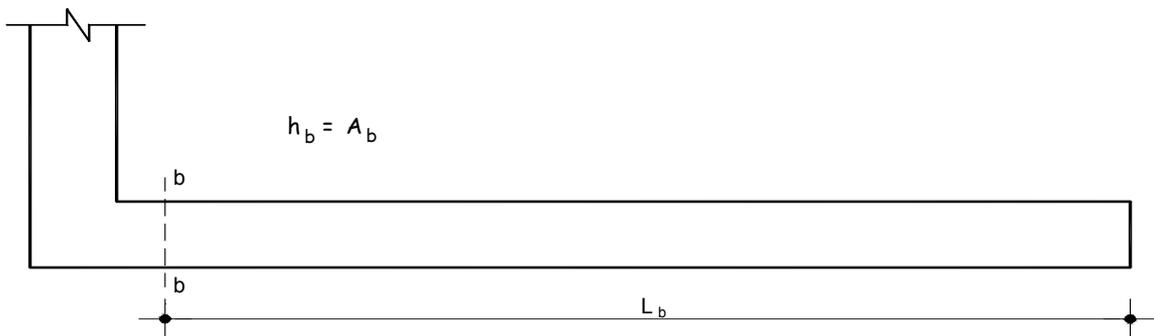
9 – DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL

A vazão na seções final do tapete é de $1,7 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$, incluindo a vazão pelo maciço e mais a vazão pela fundação, ou seja:

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

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

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



$$L_b = 45,00 \text{ m}$$

$$K_b = \frac{Q}{i \cdot A_b}$$

$$h_b = A_b$$

$$i = \frac{h_b}{L_b}$$

$$K_b = \frac{Q_b}{\left(\frac{h_b}{L_b}\right) \cdot A_b} = \frac{Q_b \cdot L_b}{h_b}$$

$$h_b^2 = \frac{Q_b \cdot L_b}{K_b}$$

$$h_b = \sqrt{\frac{1,7 \times 10^{-7} \times 45,00}{1,0 \times 10^{-5}}} = 0,87 \text{ m}$$

Foi adotado 1,0m de tapete drenante.

O material do tapete horizontal atende os seguintes requisitos de Bertram (1940).

$$1) \frac{D_{15(\text{tapete})}}{D_{85(\text{maciço})}} < 4 \therefore \frac{0,42 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}} = 0,28 < 4 \Rightarrow \text{OK!}$$

$$2) \frac{D_{15(\text{tapete})}}{D_{15(\text{maciço})}} > 5 \therefore \frac{0,42 \text{ mm}}{0,001 \text{ mm}} = 420 \gg 5 \Rightarrow \text{OK!}$$

As curvas granulométricas são apresentadas na **Figura N° 10.1**.

10 – ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS DO ROCK-FILL

10 –ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS DO ROCK-FILL

Os materiais constituintes do rock-fill foram especificados para que as camadas deixem passar a água, impedindo a migração dos grãos do solo. Para tanto, utilizou-se os princípios de Bertram (1940).

A camada de transição entre o tapete horizontal e o enrocamento do rock-fill, será executado com 0,20m de espessura de um material proveniente do produto de britagem, denominado de Brita “A”, atendendo aos seguintes requisitos:

$$1) \frac{D_{15}(\text{brita-A})}{D_{85}(\text{tapete})} < 4$$

$$2) \frac{D_{15}(\text{brita-A})}{D_{15}(\text{tapete})} > 5$$

3) Apresentar curvas granulométricas aproximadamente paralelas.

Assim sendo, a Brita “A” será executada com a seguinte composição granulométrica:

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

O enrocamento do rock-fill deverá atender os seguintes critérios:

$$1) \frac{D_{15}(\text{rock-fill})}{D_{85}(\text{brita-A})} < 4$$

$$2) \frac{D_{15}(\text{rock-fill})}{D_{15}(\text{brita-A})} > 5$$

3) Apresentar curvas granulométricas aproximadamente paralelas.

Desta forma, o enrocamento do rock-fill será executado com a seguintes composição granulométrica:

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

As curvas granulométricas do sistema de drenagem interna são mostradas na **Figura Nº10.1**, a seguir:

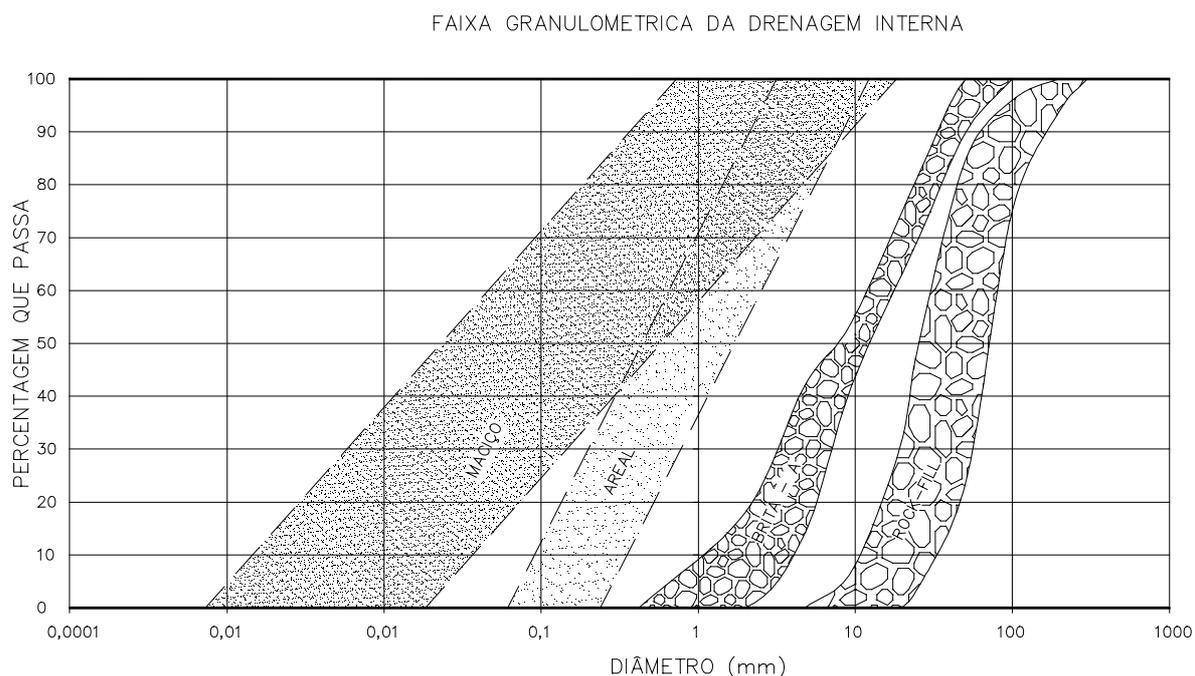


FIGURA Nº 10.1

11 – ANÁLISE DA 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.

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

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

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

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

a) Adoção do Coeficiente R_u

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

b) Definição da Linha Piezométrica

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

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

c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

O Quadro N° 11.1 mostrado a seguir, indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

| QUADRO N° 11.1: PARÂMETROS GEOTÉCNICOS | | | | |
|--|-------------------------------|---------|----------------|----------------|
| Material | γ (kN/m ³) | C (kPa) | ϕ (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 |

11.1 – MÉTODO BIHOP SIMPLIFICADO

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

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

O coeficiente de segurança é dado pela expressão:

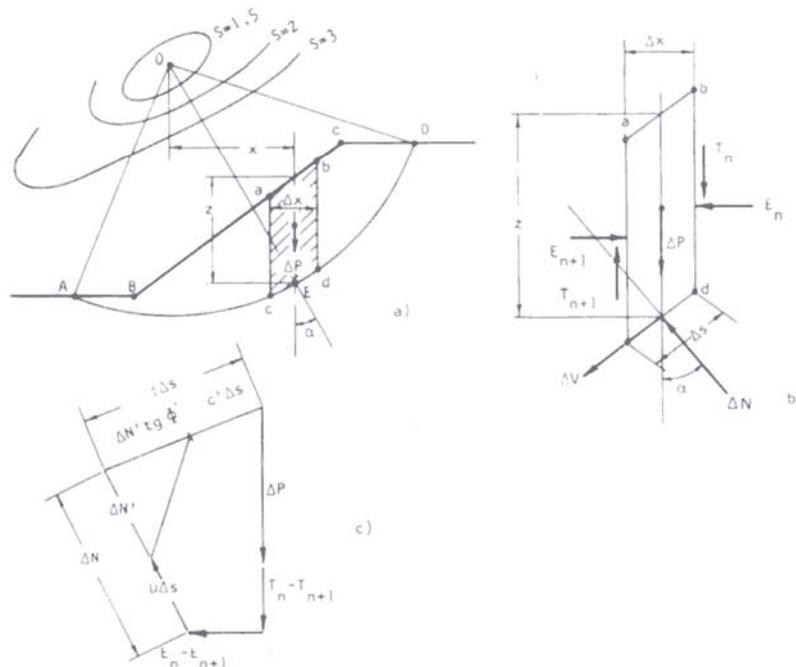
$$S = \frac{1}{\sum \Delta P \sec \alpha} \times \sum \cdot C' \cdot \Delta X + \operatorname{tg} \phi' \cdot \Delta P (1 - \bar{B}) \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{tg} \alpha}{S_0}}$$

Onde:

C' = coesão efetiva.

ϕ' = ângulo de atrito interno efetivo.

Os demais elementos são mostrados na figura abaixo:



ESTABILIDADE DE TALUDES (MÉTODO DAS FATIAS E DE BISHOP)

11.2 – 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.

11.2.1 – 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.

11.2.2 – 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.

11.2.3 – 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.

11.2.4 – Pressão Neutra

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

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

o modelo de rede de fluxo, as pressões neutras podem ser incorporadas do modelo em estudo para analisar a estabilidade do talude.

11.2.5 – Propriedade do Solo

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

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

11.2.6 – 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.

11.2.7 – Resolução do Problema

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

11.2.8 – 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.

11.2.9 – 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 λ . Por exemplo, o valor de λ de zero significa que não há força de cisalhamento entre as fatias. O valor de λ diferente de zero significa que há força de cisalhamento entre as fatias.

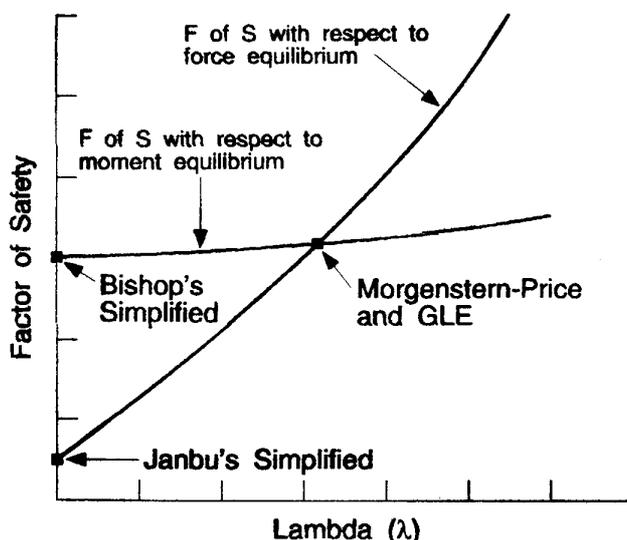


FIGURA Nº 11.1: FATOR DE SEGURANÇA X LAMBDA

Na Figura Nº 11.1 apresenta o gráfico do fator de segurança versus λ . 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 11.1** mostra como geralmente a formulação do SLOPE/W possibilita calcular o fator de segurança dos vários métodos.

11.3 – 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 11.2**:

| QUADRO Nº 11.2: 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 sismicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no **Quadro N° 11.3**:

| QUADRO N°11.3: 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.

ENTRA 25 PAGINAS DO ARQUIVO EM PDF DENTRO DA PASTA ANEXO (PAULA SABE!!!!!!!)

12 – COTA DO VOLUME MORTO

12 – COTA DO VOLUME MORTO

A cota do volume morto foi definida em 38,00m acumulando 1,27hm³ correspondente à cerca 4,6% do volume máximo.

13 – TOMADA D'ÁGUA

13 – 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.

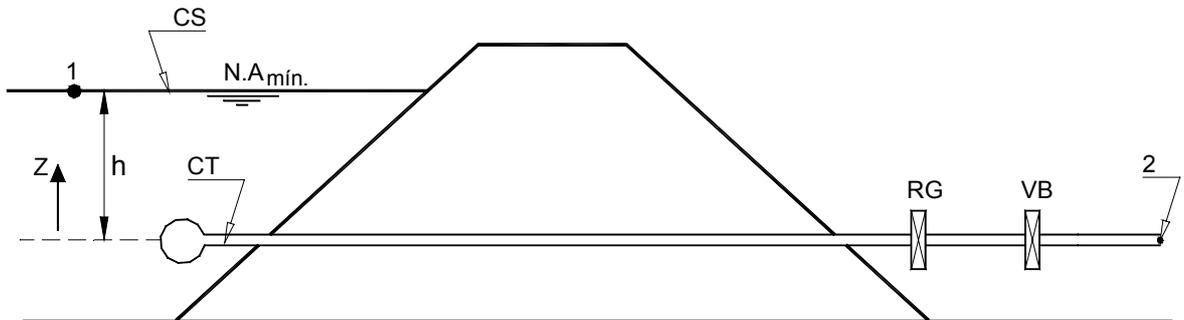
Após a caixa de dissipação no início do trecho do canal de restituição, está previsto uma proteção com material granular com a finalidade de evitar a erosão provocado pelo fluxo das águas efluentes da tomada d'água. A proteção do canal de restituição será constituída por material granular obtido do produto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

13.1 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA GALERIA.



Considerando a válvula borboleta e o registro de gaveta totalmente abertos. Considerando o nível mínimo de operação, cota 38,00m , e a vazão a ser regularizada de 0,134m³/s com 90% dimensiona-se o tubo para passar essa vazão com velocidade de 2,0m/s.

$$Q = V \cdot S$$

$$S = \frac{Q}{V}$$

$$\frac{\pi D^2}{4} = \frac{Q}{V}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,134}{\pi \times 2,0}} = 0,292m$$

Será adotado D=300mm.

A velocidade para a vazão será :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,134}{0,071} \cong 1,88 \text{ m / s}$$

Determinação das vazões e velocidade para as cotas de 38,00m a 48,00m com a válvula borboleta e o registro de gaveta totalmente abertos.

Aplicando a equação de Bernoulli entre os pontos 1 e 2.

$$\frac{P_1}{\gamma} + h + \frac{\overline{V_1^2}}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + 0 + \frac{\overline{V_2^2}}{2g} + h_f + h_L$$

tem-se:

$$P_1 = P_2 = P_{atm}$$

$$V_1 \cong 0$$

h_f = perda de carga por fricção

h_L = perda de carga localizada.

h_f é determinada pela expressão de Darcy-Weisbach dada por:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_L = \sum Ki \frac{V_2^2}{2g}$$

Ki = coeficiente de perda de carga localizada.

$$K_1 = \text{Grade} = 1,45$$

$$K_3 = \text{Válvula Borboleta} = 0,36$$

$$K_4 = \text{Registro de Gaveta} = 0,10$$

$$K_5 = \text{Saída} = 1,0$$

$$h_t = h_f + h_L$$

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V_2^2}{2g} + \sum K_i \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

$$h_f = f \cdot \frac{86}{0,30} \cdot \frac{V_2^2}{19,62} + 2,91 \times \frac{V_2^2}{19,62}$$

$$h_f = 14,61 \cdot f \cdot V_2^2 + 0,15 \cdot V_2^2$$

Substituindo na equação de Bernoulli, obtém:

$$z = 0,15V_2^2 + 14,61fV_2^2$$

$$V_2 = \left[\frac{z}{(0,15 + 14,61f)} \right]^{1/2}$$

Tem-se a velocidade como função de f . O processo de resolução deste problema é pelo método da convergência. Atribui-se valor a f e determina-se V_2 . Com V_2 calcula f e determina-se novamente V_2 . O processo prossegue até a convergência.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Onde:

Re = Número de Reynold

ν = Viscosidade Cinemática

Para a água a 30° tem-se:

$$\nu = 8,04 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{s}$$

Do ábaco de Rugosidade Relativa x Diâmetro tem-se para a tubulação de $\phi=300\text{mm}$, $\frac{e}{D} = 0,00018$.

Para $z = 13,00\text{m}$, adotando $f = 0,03$, tem-se:

$$V_2 = \left[\frac{13,00}{0,15 + 14,61 \times 0,03} \right]^{1/2} = 4,70 \text{ m} / \text{s}$$

Para $V_2 = 4,70 \text{ m / s}$

$$Re = \frac{4,70 \times 0,30}{8,07 \times 10^{-7}} = 1,74 \times 10^6$$

Para $Re = 1,74 \times 10^6$ e $\frac{e}{D} = 0,00018$

Do ábaco de Moody tira-se:

$$f = 0,0137$$

Para $f = 0,0137$ tem-se:

$$V_2 = \left[\frac{13,00}{0,15 + 14,61 \times 0,0137} \right]^{1/2} = 6,09 \text{ m / s}$$

$$Re = \frac{6,09 \times 0,30}{8,07 \times 10^{-7}} = 2,26 \times 10^6$$

Para $Re = 2,26 \times 10^6$, tira-se $f = 0,0138$

Para $f = 0,0138$ tem-se:

$$V_2 = \left[\frac{13,00}{0,15 + 14,61 \times 0,0138} \right]^{1/2} = 6,08 \text{ m / s}$$

$$Re = \frac{6,08 \times 0,30}{8,07 \times 10^{-7}} \therefore Re = 2,26 \times 10^6$$

Do Ábaco de Moody tira-se $f \cong 0,0138$ OK!

A vazão para a cota 48,00 é $Q = 6,08 \times 0,071 = 0,431 \text{ m}^3 / \text{s}$.

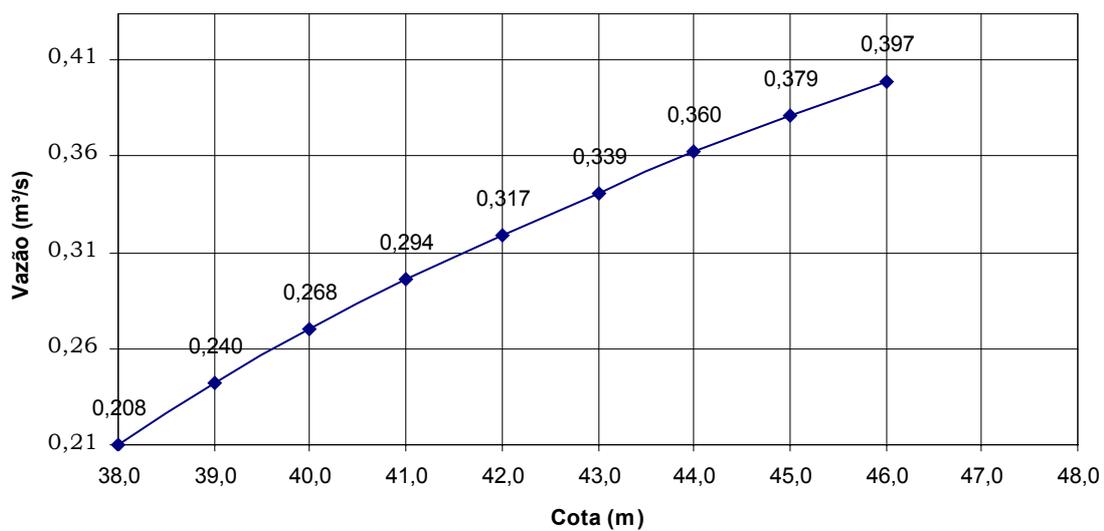
Esse procedimento foi repetido da Cota 48,00m a 38,00m, obtendo-se o **Quadro nº 13.1**:

| QUADRO Nº13.1: TOMADA D'ÁGUA | | |
|------------------------------|--------------|------------------|
| COTA (m) | VAZÃO (m³/s) | VELOCIDADE (m/s) |
| 38,00 | 0,208 | 2,92 |
| 39,00 | 0,240 | 3,38 |

| QUADRO Nº13.1: TOMADA D'ÁGUA | | |
|------------------------------|--------------|------------------|
| COTA (m) | VAZÃO (m³/s) | VELOCIDADE (m/s) |
| 40,00 | 0,268 | 3,77 |
| 41,00 | 0,294 | 4,13 |
| 42,00 | 0,317 | 4,47 |
| 43,00 | 0,339 | 4,77 |
| 44,00 | 0,360 | 5,06 |
| 45,00 | 0,379 | 5,34 |
| 46,00 | 0,397 | 5,60 |
| 47,00 | 0,415 | 5,85 |
| 48,00 | 0,432 | 6,09 |

Na figura a seguir é apresentada a curva de operação Cota x Vazão.

Gráfico: COTA x VAZÃO



14 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

14 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

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 27,36hm³, 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:

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

$$T = 36,397 \text{ m}$$

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

$$D = 69,813 \text{ m}$$

$$PC = 10 + 3,11$$

$$PT = 13 + 12,92$$

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.

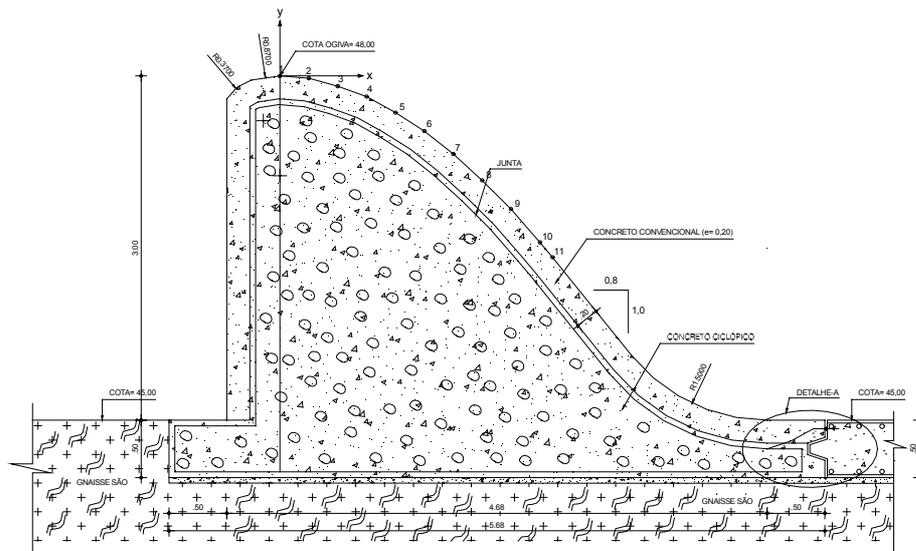
O volume previsto para essa escavação será de 205.330m³, sendo 97.640m³ de solo e 107.690m³ de rocha. A escavação de solo deverá ser aproveitado na zona de jusante do maciço da barragem. Os volumes de material de solo e rocha foram inferidos a partir das sondagens geotécnicas de subsolo realizados na 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:

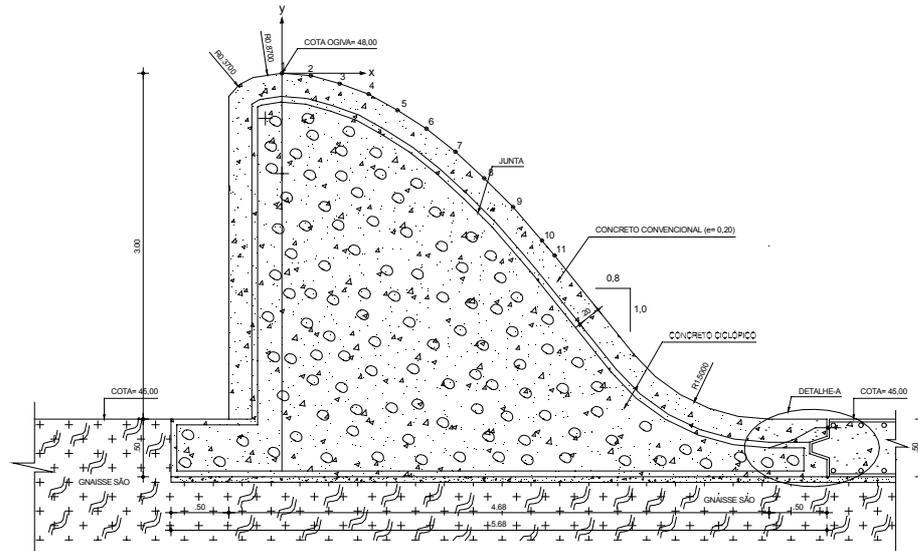
H_0 = Energia total acima da ogiva, incluindo a carga cinética;

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.

14.1 – PERFIL CREAGER



Vazão de Projeto (Cheia Milenar)

$$Q = 220 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$L = 50 \text{ m}$$

$$q = \frac{220}{50} = 4,40 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$P = 3,0 \text{ m}$$

Adotando $h_b = 1,63$ (dos Estudos Hidrológicos)

Tem-se:

$$H_o = h_b + h_a$$

$$q = CH_o^{2/3}$$

$$V_a = \frac{q}{P + h_b} = \frac{4,40}{3,0 + 1,63} = 0,95 \text{ m} / \text{s}$$

$$h_a = \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot [P + h_b]^2} = \frac{4,40^2}{19,62 \times [3,0 + 1,63]^2} = 0,05 \text{ m}$$

$$H_o = 1,63 + 0,05 = 1,68$$

$$\frac{h_a}{H_o} = 0,03$$

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 $\frac{h_a}{H_0} = 0,03$, obtem-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: $\frac{dy}{dx} = -1,25$, obtem-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

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

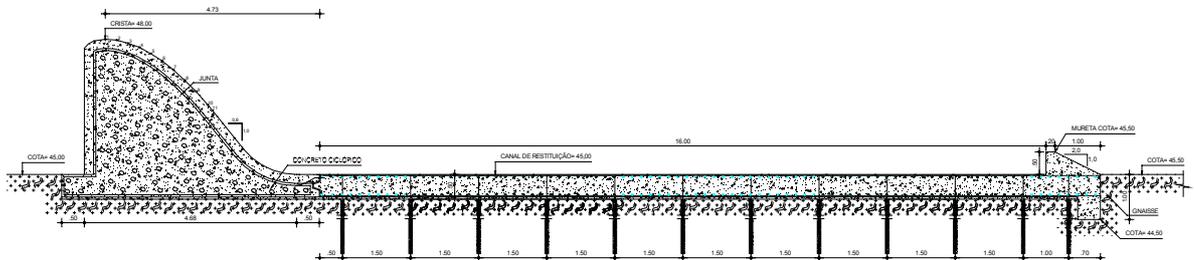
$$\frac{x_c}{H_o} = 0,273 \Rightarrow x_c = 0,46m$$

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

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

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

14.2 – DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DISSIPACÃO



$$E_1 = E_2$$

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

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

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

$$E_1 = 4,68$$

$$q = 4,40$$

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.

14.3 – 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 / m²**. 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/m²

γ = massa específica do terreno = 1,8tf/m³

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

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

ϕ = ângulo de atrito real do solo = 38°

Aplicando na expressão, temos:

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

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

15 – QUANTITATIVOS DO PROJETO

15 – QUANTITATIVOS DO PROJETO

No intuito de compor o orçamento para execução da obra, foram levantadas todas as quantidades necessárias a execução da obra. Estas quantidades foram determinadas a partir dos desenhos do projeto. Apresentamos a seguir as planilhas com o resumo e o cálculo de quantidades, e as planilhas com o cálculo de movimento de terra, proteção com brita, pedra e outros.

Planilha Resumo de Quantidades

(14 páginas)

Planilha Cálculo de Quantidades

(12 páginas)