

BARRAGEM JATOBÁ

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
8 – DIMENSIONAMENTO DO FILTRO VERTICAL.....	30
9 – DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL.....	32
10 – ESPECIFICAÇÕES DOS MATERIAIS DO ROCK-FILL.....	35
11 – ANÁLISE DA ESTABILIDADE	38
11.1 – MÉTODO BIHOP SIMPLIFICADO.....	39
11.2 – PROGRAMA SLOPE/W	40
11.2.1 – Método de Análise	41
11.2.2 – Geometria e Estratigrafia	41
11.2.3 – Superfície de Escorregamento	41
11.2.4 – Pressão Neutra	41
11.2.5 – Propriedade do Solo.....	42
11.2.6 – Definição do Problema.....	43
11.2.7 – Resolução do Problema.....	44
11.2.8 – Apresentação dos Resultados	44
11.2.9 – Formulário.....	44

11.3 – RESULTADOS OBTIDOS	45
12 – COTA DO VOLUME MORTO	73
13 – TOMADA D'ÁGUA.....	75
13.1 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DA GALERIA.....	76
14 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOIRO	82
14.1 – PERFIL CREAGER	83
14.2 – CÁLCULO DA LÂMINA NO TRECHO DO VERTEDOIRO LATERAL.....	85
14.3 – CÁLCULO DA LÂMINA NO CANAL RÁPIDO	89
14.4 – CÁLCULO DO COMPRIMENTO DO RESSALTO E DA ALTURA CONJUGADA	90
14.5 – DIMENSIONAMENTO DOS MUROS LATERAIS.....	92
14.5.1 – Cálculo da Abscissa da Resultante Vertical	93
14.5.1 – Cálculo da Abscissa da Resultante Vertical	93
15 – QUANTITATIVOS DO PROJETO	97

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 Jatobá**, 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 Jatobá.

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

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

QUADRO Nº 2.1: VERIFICAÇÃO DA BOMBA LIVRE PELO ESTUDO DOS VENTOS DA BARRAGEM JATOBÁ						
FETCH (km)	H_s (m)	NA (normal) (m)	CHUVA 2 DIAS NA (1.000)	CHUVA 2 DIAS NA (10.000)	COROAME NTO (m)	BORDO LIVRE (m)
4,30	0,33	266,00	268,20	268,80	269,8	1,00

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 $f=1,60\text{m}$.

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:

$$C_c = \text{Cota do Coroamento.}$$

$$C_s = \text{Cota da Soleira} = 266,00\text{m.}$$

$$L = \text{Lâmina vertente na cheia milenar} = 2,20\text{m.}$$

$$f = \text{folga} = 1,60\text{m.}$$

$$C_c = 266,00 + 2,20 + 1,60 = 269,80\text{m.}$$

Adotar 269,80m

Verificação para a cheia decamilenar.

$$C_c - C_{10.000}$$

Onde:

$$C_{10.000} = \text{Cota da cheia decamilenar} = 266,00 + 2,80 = 268,80\text{m}$$

$$C_c - C_{10.000} = 269,80 - 268,80 = 1,00 \geq 0,60 \Rightarrow \text{OK!}$$

Adotou-se a cota de coroamento $C_c = 269,80\text{m}$.

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 máxima tem $H_b = 20,69m$ e
 $L_c = 1,10 \times \sqrt{20,69} + 0,90 = 5,90m$, 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 1,00m.

- $D_{50\%} = 0,31 \text{ m}$
- $P_{\text{máx}} = 225 \text{ kg}$
- Esp. = 0,46 m

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

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:

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

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:

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

c) O diâmetro e o peso do bloco mínimo:

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

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

d) O diâmetro e o peso máximo do bloco.

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

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

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

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

– Material filtrante x Rip-rap

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

— 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, J-04 e J-05.

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 pedra.

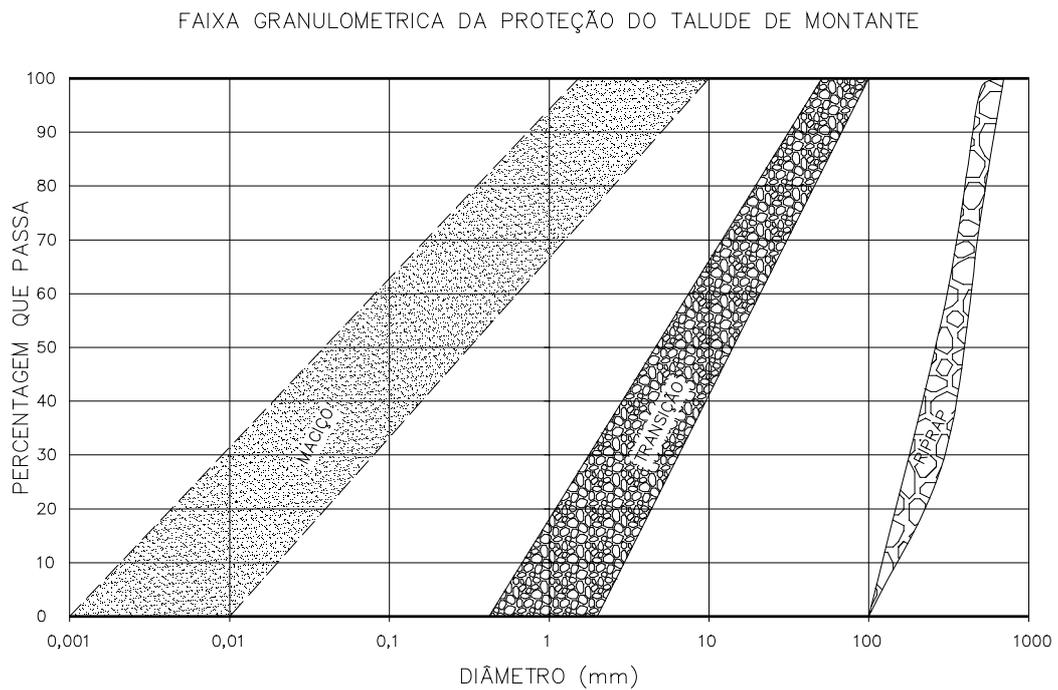
QUADRO Nº 6.1: MATERIAL DE TRANSIÇÃO	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
200mm	100
100mm	100
2" (50,8mm)	90-100
1" (25,4mm)	70-82
3/8" (9,5mm)	42-54
Nº4 (4,76mm)	14-42
Nº10 (2,00mm)	0-18
Nº40 (0,42mm)	-

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

QUADRO Nº 6.2: MATERIAL DO ENROCAMENTO DO RIP-RAP	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
700mm	100
500mm	74-98
300mm	4-58

QUADRO Nº 6.2: MATERIAL DO ENROCAMENTO DO RIP-RAP	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
100mm	-

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



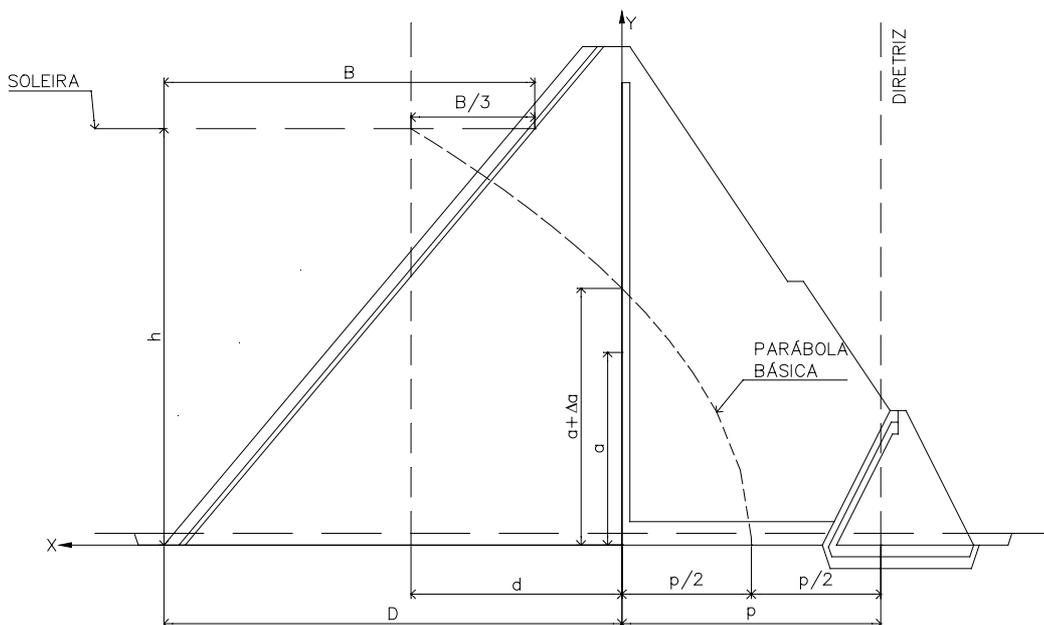
7 – DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA

7 – DETERMINAÇÃO DA LINHA FREÁTICA

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:

PARABOLA DE KOZENY - SEÇÃO TRANSFORMADA



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

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

Onde:

(x, y) = ponto da curva

p = o dobro da distância do foco ao vértice.

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

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

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

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

$$X_t = x \cdot \sqrt{\frac{K_y}{K_x}}$$

Onde:

X_t = Abscissa transformada

X = Abscissa real

K_x = Permeabilidade na direção horizontal

K_y = Permeabilidade na direção vertical

Sendo assim:

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

Portanto a equação abaixo:

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

Se transformada em:

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

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

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

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

$$Q_M = K \cdot P$$

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

$$\text{Para: } K_y = 5,0 \times 10^{-10} \text{ m / s e } p = 14,10 \text{ m}.$$

$$Q_M = 7,0 \times 10^{-9} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

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

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

Onde:

q = Vazão por metro

K_f = Coeficiente de permeabilidade

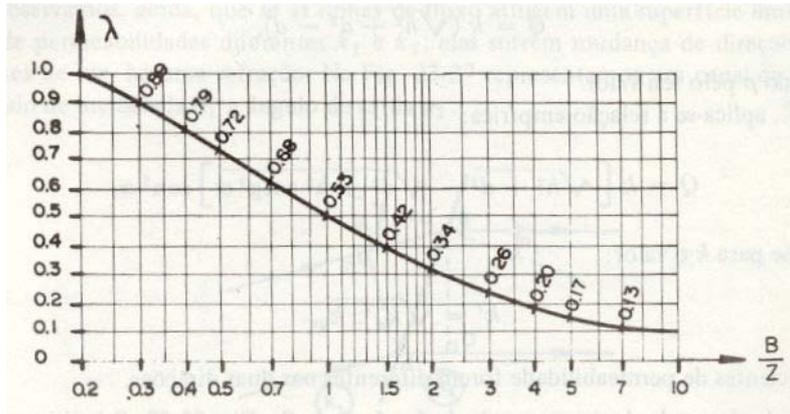
h = Carga hidráulica

λ = Coeficiente dado em função de B / Z

Z = Espessura do maciço permeável

B = Extensão da zona impermeável de montante

λ é obtido do gráfico abaixo



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

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

$$K_f = 3K_y$$

Para: $K_y = 10^{-7} \text{ m / s}$

$$K_f = 3 \times 10^{-7} \text{ m / s}$$

Para: $B \cong 44,0 \text{ m}$

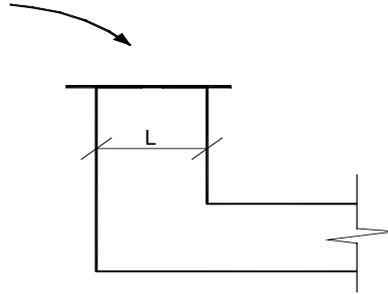
$$\frac{B}{Z} = \frac{44}{10} = 4,1$$

$$\lambda = 0,20$$

$$q = 0,2 \times 3 \times 10^{-7} \times 17 = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

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 $4,5 \times 10^{-9} \text{ m} / \text{s} / \text{m}$ Logo:

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

$$L = \frac{Q}{K \cdot i} = \frac{4,5 \times 10^{-9}}{1,0 \times 10^{-5} \times 1,0} \therefore L = 0,0005m$$

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 Nº 10.1.

9 – DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL

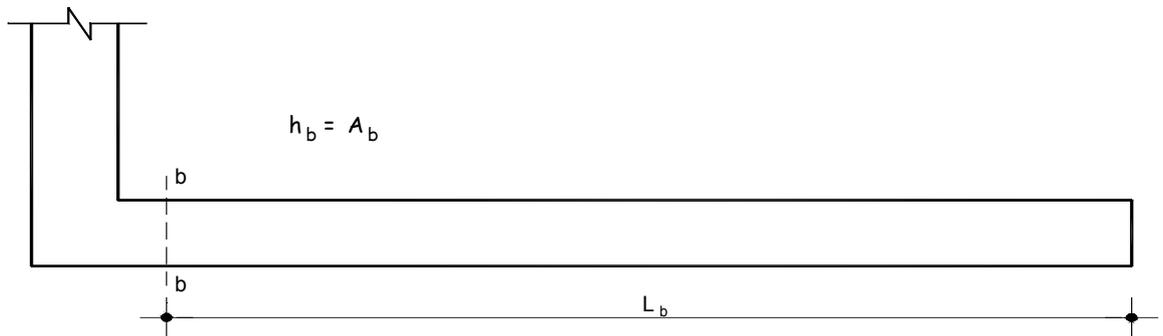
9 – DIMENSIONAMENTO DO TAPETE HORIZONTAL

A vazão na seção final do tapete é de $1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$, incluindo a vazão pelo maciço e mais a vazão pela fundação, ou seja:

$$Q_{\text{maciço}} = 4,5 \times 10^{-9} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 1,0 \times 10^{-5} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$Q_{\text{total}} = 1,0 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$



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

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

$$h_b = A_b$$

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

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

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

$$h_b = \sqrt{\frac{1,0 \times 10^{-6} \times 45}{2,0 \times 10^{-3}}} = 0,15 \text{ m}$$

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” (9,5mm)	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:

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

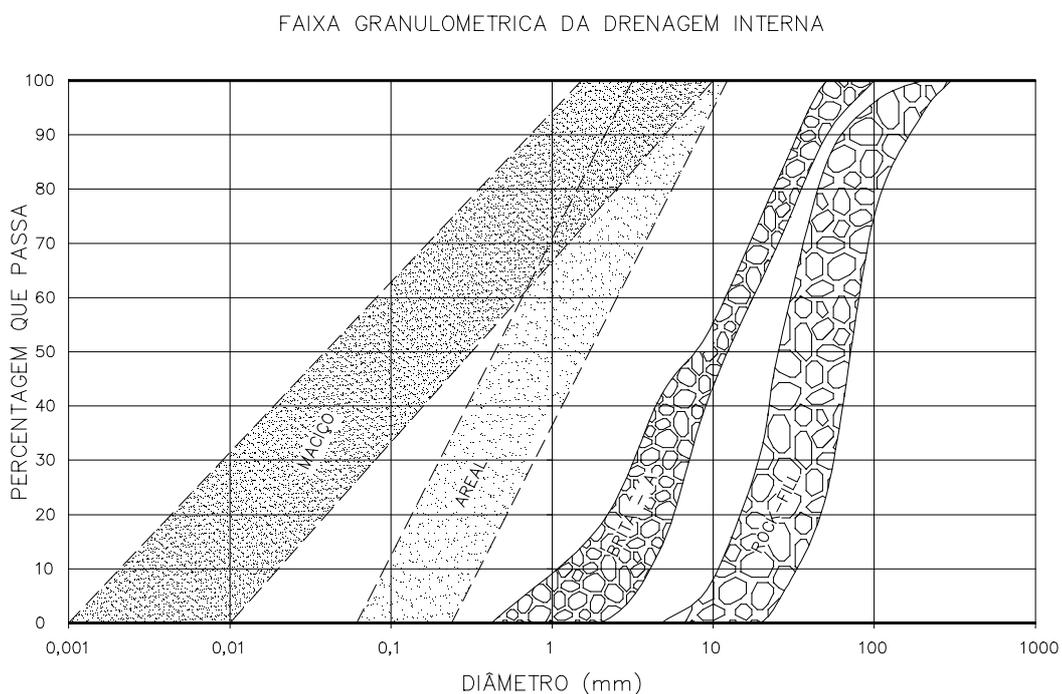
$$2) \frac{D_{15}(\text{rock-fill})}{D_{15}(\text{brita-A})} > 5$$

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:



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 Jatobá 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
Rip-Rap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço/Cut-Off	18,8	9,0	31,1°	0,10
Filtro/Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-Fill	20,0	0,00	38°	0,00
Aluvião	17,0	5,0	28°	0,10
Topo Rochoso	-	-	-	-

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:

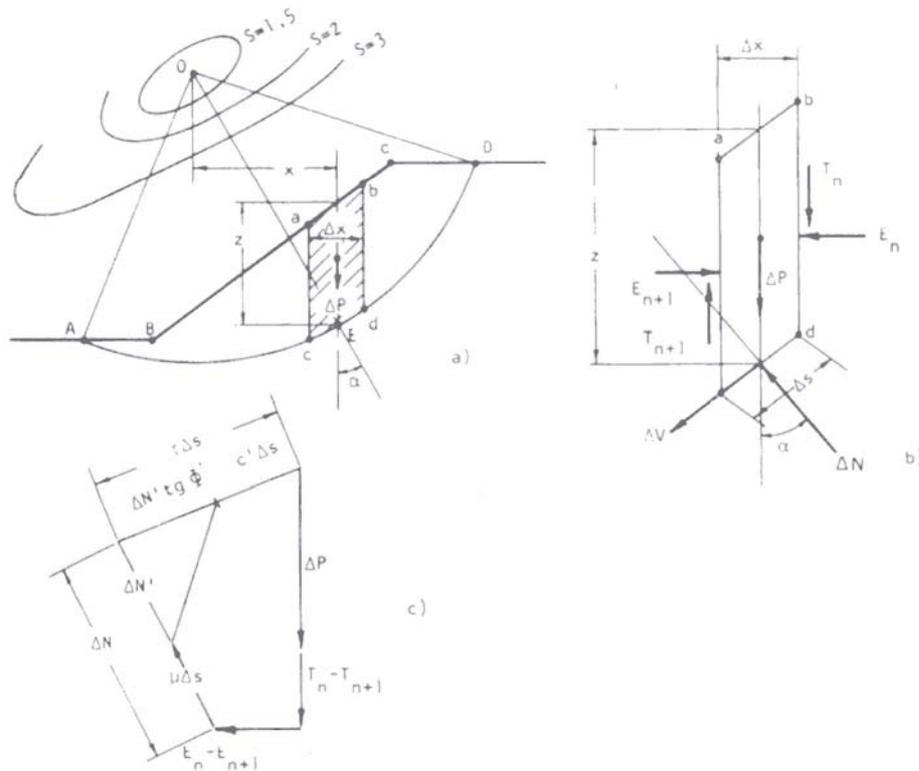
$$S = \frac{1}{\sum \Delta P \sec \alpha} \times \sum C' \cdot \Delta X + tg \phi' \cdot \Delta P (1 - \bar{B}) \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{tg \phi' \cdot tg \alpha}{S_0}}$$

Onde:

C' = coesão efetiva.

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:

- **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 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.

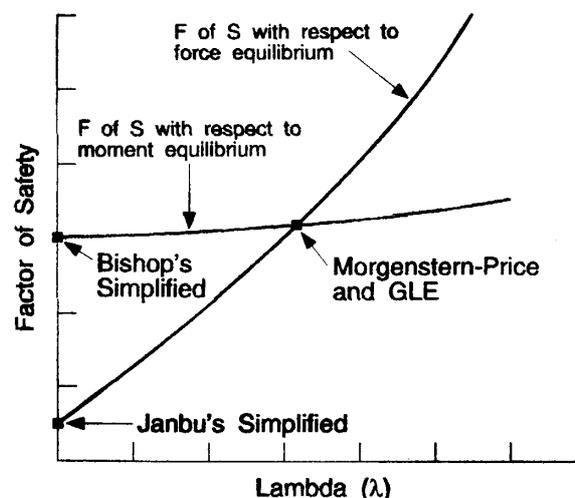


FIGURA Nº 11.1: FATOR DE SEGURANÇA X LAMBDA

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 Nº11.1 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	1,609	1,473	1,605
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,828	1,632	1,608
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,827	1,632	1,607
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,009	1,158	1,101

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° 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	1,421	1,309	1,435
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,611	1,438	1,417
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,609	1,438	1,417
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,001	1,040	1,001

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

ENTRA 25 ARQUIVOS PDF

12 – COTA DO VOLUME MORTO

12 – COTA DO VOLUME MORTO

A cota do volume morto foi definida em 254,00m acumulando 12,903m³ correspondente à cerca 0,2% do volume máximo.

13 – TOMADA D'ÁGUA

13 – TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 27 do eixo barrável pela a ombreira direita. A tomada d'água terá extensão de 64,00m 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 257,00m. O corpo do tubo será envolvido em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de $0,028\text{m}^3/\text{s}$ 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.

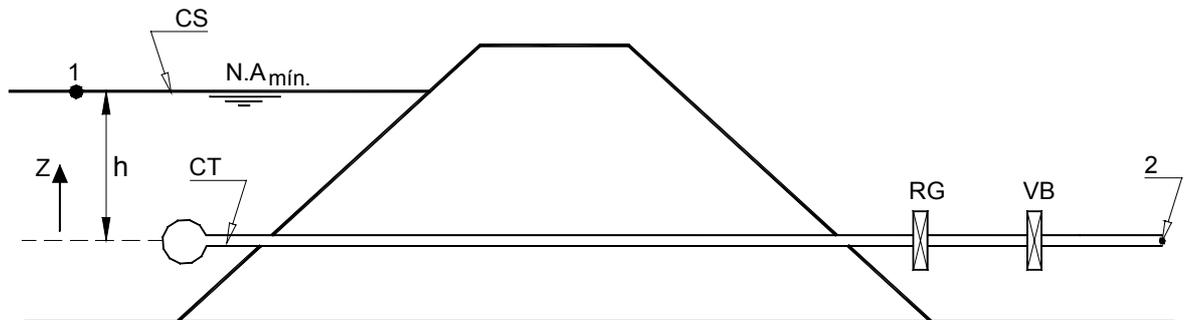
Após a caixa de dissipação no início do trecho do canal de restituição, está previsto uma proteção com material granular com a finalidade de evitar a erosão provocado pelo fluxo das águas efluentes da tomada d'água. A proteção do canal de restituição será constituída por material granular obtido do produto 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 266,00m e 259,00m, onde os volumes são de $6,20\text{hm}^2$ que corresponde a 100% de capacidade e $0,70\text{hm}^3$ que corresponde a 11% 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.

$$Q = V \cdot S$$

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

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

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

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0,028}{\pi \times 2,0}} = 0,133m$$

Será adotado D=300mm.

A velocidade para a vazão será :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{0,028}{0,071} \cong 0,39 \text{ m / s}$$

Determinação das vazões e velocidade para as cotas de 266,00m a 259,00m 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:

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

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

K_i = coeficiente de perda de carga localizada.

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

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

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

$$K_5 = \text{Saída} = 1,0$$

$$h_r = h_f + h_L$$

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

$$h_f = f \cdot \frac{64}{0,30} \cdot \frac{V_2^2}{19,62} + 2,91 \times \frac{V_2^2}{19,62}$$

$$h_f = 10,87 \cdot f \cdot V_2^2 + 0,15 \cdot V_2^2$$

Substituindo na equação de Bernoulli, obtém:

$$z = 0,15V_2^2 + 10,87fV_2^2$$

$$V_2 = \left[\frac{z}{(0,15 + 10,87f)} \right]^{1/2}$$

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 Cinemética

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 $z = 9,00\text{m}$, adotando $f = 0,03$, tem-se:

$$V_2 = \left[\frac{9,00}{0,15 + 10,87 \times 0,03} \right]^{1/2} = 4,34 \text{ m / s}$$

Para $V_2 = 4,34 \text{ m / s}$

$$Re = \frac{4,34 \times 0,30}{8,07 \times 10^{-7}} = 1,61 \times 10^6$$

Para $Re = 1,61 \times 10^6$ e $\frac{e}{D} = 0,00018$

Do ábaco de Moody tira-se:

$$f = 0,0137$$

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

$$V_2 = \left[\frac{9,00}{0,15 + 10,87 \times 0,0137} \right]^{1/2} = 5,48 \text{ m / s}$$

$$Re = \frac{5,48 \times 0,30}{8,07 \times 10^{-7}} = 2,03 \times 10^6$$

Para $Re = 2,03 \times 10^6$, tira-se $f = 0,0138$

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

$$V_2 = \left[\frac{9,00}{0,15 + 10,87 \times 0,0138} \right]^{1/2} = 5,44 \text{ m / s}$$

$$Re = \frac{5,44 \times 0,30}{8,07 \times 10^{-7}} \therefore Re = 2,03 \times 10^6$$

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

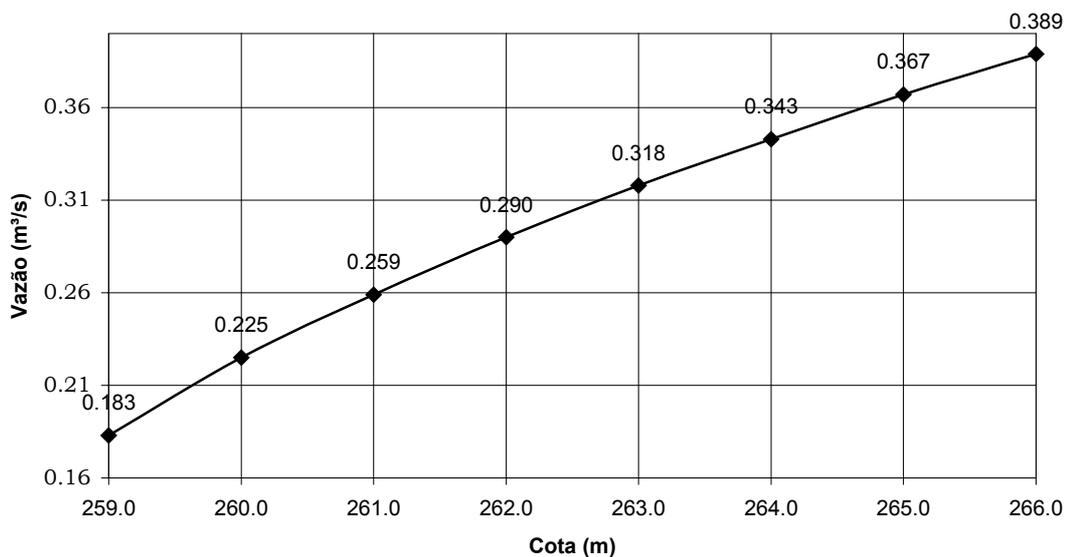
A vazão para a cota 266,00 é $Q = 5,44 \times 0,071 = 0,386 \text{ m}^3 / \text{s}$.

Esse procedimento foi repetido da Cota 266,00m a 259,00m, obtendo-se o **Quadro N° 13.1:**

QUADRO Nº 13.1: TOMADA D'ÁGUA		
COTA (m)	VAZÃO (m³/s)	VELOCIDADE (m/s)
259,00	0,183	2,58
260,00	0,225	3,16
261,00	0,259	3,65
262,00	0,290	4,08
263,00	0,318	4,47
264,00	0,343	4,83
265,00	0,367	5,16
266,00	0,389	5,48

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 Jatobá foi reprojetoado conforme solicitação do relatório da Reunião 55º do Painel.

Nova concepção consiste de um vertedouro em canal lateral vertendo por um perfil creager com ogiva na cota 266,00m

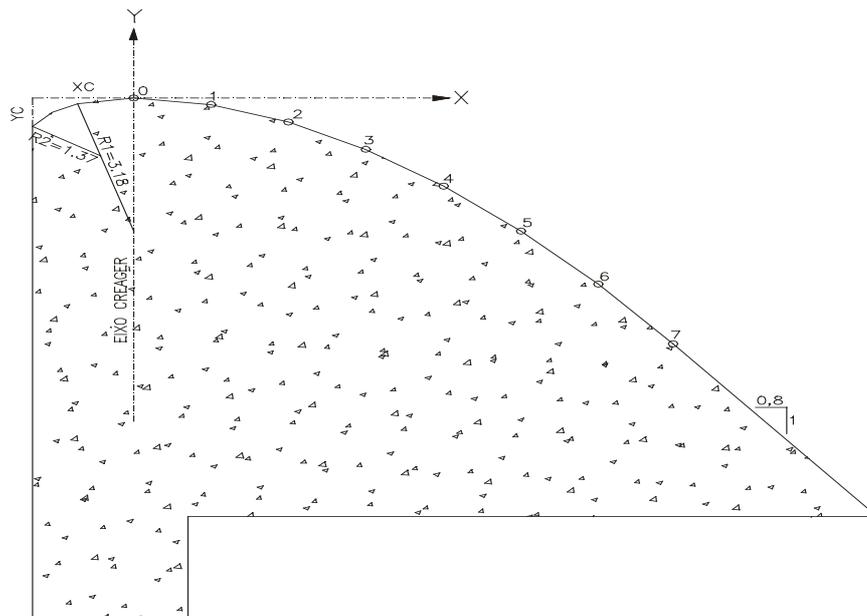
Nessa nova concepção foi projetado inicialmente a escavação de um platô na cota 262,00m entre as estacas 1+3,50 e 1+15,00.

Sobre esse platô foi feito a escavação do canal lateral que inicia com 10,00m de largura e alarga para 20,00m. A inclinação desse canal inicia com 5,0%, passe por trecho com 6,27% e depois atinge a inclinação de 8,57% e prossegue até ser atingida a cota 248,00m, quando o canal fica com declividade nula.

O eixo do canal lateral foi estaqueado em unidade de estaca com 20,00m de distância entre as estacas. A extensão total do canal é de 305,00m. O canal é todo revestido em laje de concreto armado e chumbada no maciço saprolítico onde a escavação do canal acontece. O canal em planta apresenta uma curva.

O projeto do vertedouro da Barragem Jatobá pode ser visto nos Desenhos I-2-JA-22/35-010 a I-2-JA-28/35-010.

O perfil do muro creager foi calculado pelo procedimento recomendado pelo Bureau of Reclamation.



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

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

Onde:

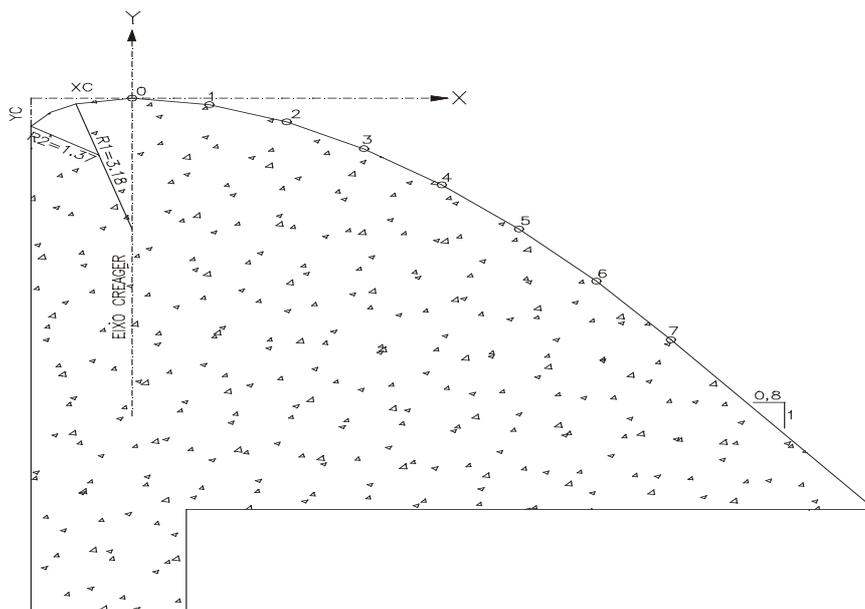
H_0 = Energia total acima da ogiva, incluindo a carga cinética;

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

- c) O ponto de tangência $X_T \cdot Y_T$ é aquele onde a derivada da função iguale-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 Milenar para a chuva de duração de 2 dias.

$$Q = 238 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$L = 30,00 \text{ m}$$

$$h_0 = 2,40 \text{ m}$$

$$q = \frac{238}{30} = 7,93 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

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

$$h_a = \frac{q^2}{2 \times g \times (P + h_0)^2}$$

$$h_a = 0,10 \text{ m}$$

$$H_0 = 2,40 + 0,10 = 2,50 \text{ m}$$

$$\frac{h_a}{H_0} = 0,04$$

Dos ábacos do "Bureau of Reclamation", tem-se:

$$K = 0,51$$

$$n = 1,85$$

Equação de Jusante

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

$$\frac{y}{2,50} = -0,51 \times \left(\frac{x}{2,50} \right)^{1,85}$$

$$y = -0,234 \cdot x^{1,85}$$

Derivando esta equação, tem-se:

$$\frac{dy}{dx} = -0,432 \cdot x^{0,85}$$

Fazendo $\frac{dy}{dx} = -1,25$ que corresponde a um talude de 1:0,8 (V:H), obtém-se

a abscissa do ponto de tangência ao perfil X_T .

$$-0,432 \cdot X^{0,85} = -1,25$$

$$X_T = \left[\frac{1,25}{0,432} \right]^{1,176}$$

$$X_T = 3,48m$$

$$Y_T = -2,35m$$

As coordenadas do perfil de jusante são mostradas no Quadro a seguir:

X	$Y = -0,234 \cdot X^{1,85}$
0,00	0,00
0,50	-0,06
1,00	-0,23
1,50	-0,49
2,00	-0,84
2,50	-1,27
3,00	-1,78
3,48	-2,35

Determinação dos elementos da concordância da curva de montante do muro creager.

Para $\frac{h_a}{H_0} = 0,04$, tem-se:

Obtém-se dos ábacos do “Bureau of Reclamation” as seguintes relações:

$$\frac{X_c}{H_0} = 0,263 \Rightarrow X_c = 0,65m$$

$$\frac{Y_c}{H_0} = 0,11 \Rightarrow Y_c = 0,27m$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,51 \Rightarrow R_1 = 1,27m$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,21 \Rightarrow R_2 = 0,52m$$

14.2 – CÁLCULO DA LÂMINA NO TRECHO DO VERTEDOURO LATERAL

As águas verterão lateralmente no canal escavado o cálculo da lâmina no trecho de vazão variável foi feito pelo procedimento recomendado pelo Bureau

of Reclamation. Nessa hipótese a energia vertente é toda dissipada na queda da água. Não havendo portanto contribuição para gerar o fluxo no sentido do canal.

O fluxo no canal é calculado por iteração considerando a variação do Momentum entre duas seções.

O Momentum é dado por:

$$M = \frac{Q \times v}{g}$$

Fazendo a variação do Momentum das duas seções e considerando que a taxa de variação do Momentum, que é a força de aceleração do movimento, é igual a inclinação da superfície da água $\Delta Y / \Delta X$, obtém-se a equação:

$$\Delta Y = \frac{Q_1}{g} \times \frac{(v_1 + v_2)}{(Q_1 + Q_2)} \times \left[(V_2 - V_1) + V_2 \times \frac{(Q_2 - Q_1)}{Q_1} \right]$$

Resolvendo por iteração a equação acima, obtém-se as lâminas no trecho de vazão variada.

Os resultados obtidos são mostrados na tabela a seguir:

CÁLCULO DA LÂMINA NO VERTEDOURO LATERAL

Estação	ΔX	Q1	Q2	Q1+Q2	Q2-Q1	Q1/g	B	d1	d2	A1	A2	V1	V2	$\Delta Y1$	$\Delta Y2$	dc	Ac	Vc	Qc	Vp
0	5,0	39,00	-	-	-	3,98	10,62	4,3300	-	74,11	-	0,53	-	-	-	6,065	119,60	0,33	39,00	370,5398
1	10,0	78,00	78,00	117,00	39,00	7,95	11,25	4,2900	4,2900	75,87	75,87	1,03	1,03	0,040	0,040	3,821	64,89	1,20	78,00	
2	15,0	117,00	117,00	195,00	39,00	11,93	11,87	4,2900	4,2020	78,53	76,36	1,49	1,53	0,088	0,088	2,916	47,37	2,47	117,00	
3	20,0	156,00	156,00	273,00	39,00	15,90	12,50	4,2020	4,1550	79,01	77,83	1,97	2,00	0,135	0,135	2,407	38,78	4,02	156,00	
4	25,0	195,00	195,00	351,00	39,00	19,88	13,12	4,1550	4,0040	80,41	76,58	2,43	2,55	0,198	0,198	2,075	33,67	5,79	195,00	
5	30,0	-	234,00	429,00	39,00	-	13,75		3,8870		76,11	-	3,07	0,268	0,268	1,837	30,32	-	-	

14.3 – CÁLCULO DA LÂMINA NO CANAL RÁPIDO

Usando o Step Method a lâmina e velocidade na seção inicial são conhecidas.

O cálculo é apresentado na planilha a seguir:

Cálculo do Perfil do Rápido no Vertedouro Lateral

Estação	Y	ΔX	B	A	R	R ^{4/3}	V	V ^{2/2g}	E	ΔE	So	Sf	Sfméd	So-Sfméd	ΔX1	ΔX2	X	Cota do Fundo	Cota do Perfil
0	3,88700	-	13,75	76,109	2,741	3,836	3,07	0,4818	4,3688	-	0,05000	0,000483	-	-	-	-	30,00	257,50	261,387
1	4,58820	10,00	15,00	100,400	3,183	4,682	2,33	0,2769	4,8651	0,496	0,05000	0,000227	0,000355	0,049645	10,00	10,00	40,00	257,00	261,588
2	5,18350	10,00	16,25	124,535	3,564	5,445	1,88	0,1799	5,3634	0,498	0,05000	0,000127	0,000177	0,049823	10,00	10,00	50,00	256,50	261,684
3	5,73800	10,00	17,50	149,802	3,923	6,186	1,56	0,1244	5,8624	0,499	0,05000	7,73E-05	0,000102	0,049898	10,00	10,00	60,00	256,00	261,738
4	6,27250	10,00	18,75	176,626	4,270	6,927	1,32	0,0895	6,3620	0,500	0,05000	4,97E-05	0,000063	0,049937	10,00	10,00	70,00	255,50	261,773
5	6,79500	10,00	20,00	205,158	4,610	7,673	1,14	0,0663	6,8613	0,499	0,05000	3,32E-05	0,000041	0,049959	10,00	10,00	80,00	255,00	261,795
6	0,96793	15,00	20,00	20,764	0,884	0,848	11,27	6,4731	7,4410	0,580	0,05333	0,029343	0,014688	0,038642	15,00	15,00	95,00	254,20	255,168
7	0,92790	10,00	20,00	19,849	0,850	0,805	11,79	7,0833	8,0112	0,570	0,08857	0,033817	0,031580	0,056990	10,00	10,00	105,00	253,32	254,248
8	0,89538	10,00	20,00	19,110	0,823	0,771	12,24	7,6419	8,5373	0,526	0,08857	0,038121	0,035969	0,052601	10,00	10,00	115,01	252,44	253,335
9	0,86851	10,00	20,00	18,502	0,800	0,742	12,65	8,1529	9,0214	0,484	0,08857	0,042227	0,040174	0,048396	10,00	10,00	125,01	251,56	252,429
10	0,84602	10,00	20,00	17,994	0,781	0,719	13,00	8,6194	9,4654	0,444	0,08857	0,046114	0,044170	0,044400	10,00	10,00	135,01	250,68	251,526
11	0,82700	10,00	20,00	17,566	0,764	0,699	13,32	9,0447	9,8717	0,406	0,08857	0,04977	0,047942	0,040628	10,00	10,00	145,01	249,80	250,627
12	0,81078	10,00	20,00	17,202	0,750	0,682	13,60	9,4318	10,2425	0,371	0,08857	0,053189	0,051480	0,037090	10,00	10,00	155,01	248,92	249,731
13	0,79685	10,00	20,00	16,889	0,738	0,667	13,85	9,7837	10,5805	0,338	0,08857	0,056373	0,054781	0,033789	10,00	10,00	165,01	248,00	248,797

14.4 – CÁLCULO DO COMPRIMENTO DO RESSALTO E DA ALTURA CONJUGADA

Examinando a evolução do fluxo obtido pelo “Step Method” verifica-se que no final do rápido e entrada na bacia a lâmina é de 0,79m e a velocidade é de 13,85m/s.

Desta forma o número de Froude será:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \cdot d}} = \frac{13,85}{\sqrt{9,81 \times 0,79}} = 4,97$$

A altura conjugada d_2 será:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_R^2} - 1 \right]$$
$$d_2 = \frac{0,79}{2} \times \left[\sqrt{1 + 8 \times 4,97^2} - 1 \right]$$
$$d_2 = 5,17m$$

O comprimento da bacia de dissipação será:

$$L = 6 \times d_2$$
$$L = 31,02m$$

Tendo em vista as condições geológicas do terreno o canal da bacia foi revestido por cerca de 110,00m.

O dimensionamento dos chumbadores foi feito admitindo a hipótese que a barragem quando cheia poderá saturar o terreno de jusante. Nesse caso a carga maior no fundo do canal será de $8,0tf / m^2$, o espaçamento entre os chumbadores é de no máximo 1,50m, logo a carga máxima sobre um chumbador é de $18,00tf$. O que daria uma resistência de $4,5tf / m$ de chumbador.

A capacidade de um chumbador dessa natureza determinada pela fórmula brasileira simplificada (Nunes 1987) é dada por:

$$F = \pi \times D_d \times L_s \times (C' + (\gamma \cdot h + \Delta P) \times \phi)$$

Onde:

$$F = \text{capacidade de carga do bulbo}$$

D_d = diâmetro da perfuração = 0,10m

L_s = comprimento do bulbo = 4,0m

C' = aderência entre calda e terreno adotado igual à coesão real do solo

γ = peso específico do solo

h = profundidade do centro do bulbo = 2,0m

ϕ = ângulo de atrito real do solo

ΔP = parcela de aumento de pressão normal

Para:

$$C' = 10tf / m^2$$

$$\phi = 35^\circ$$

$$\gamma = 1,8tf / m^3$$

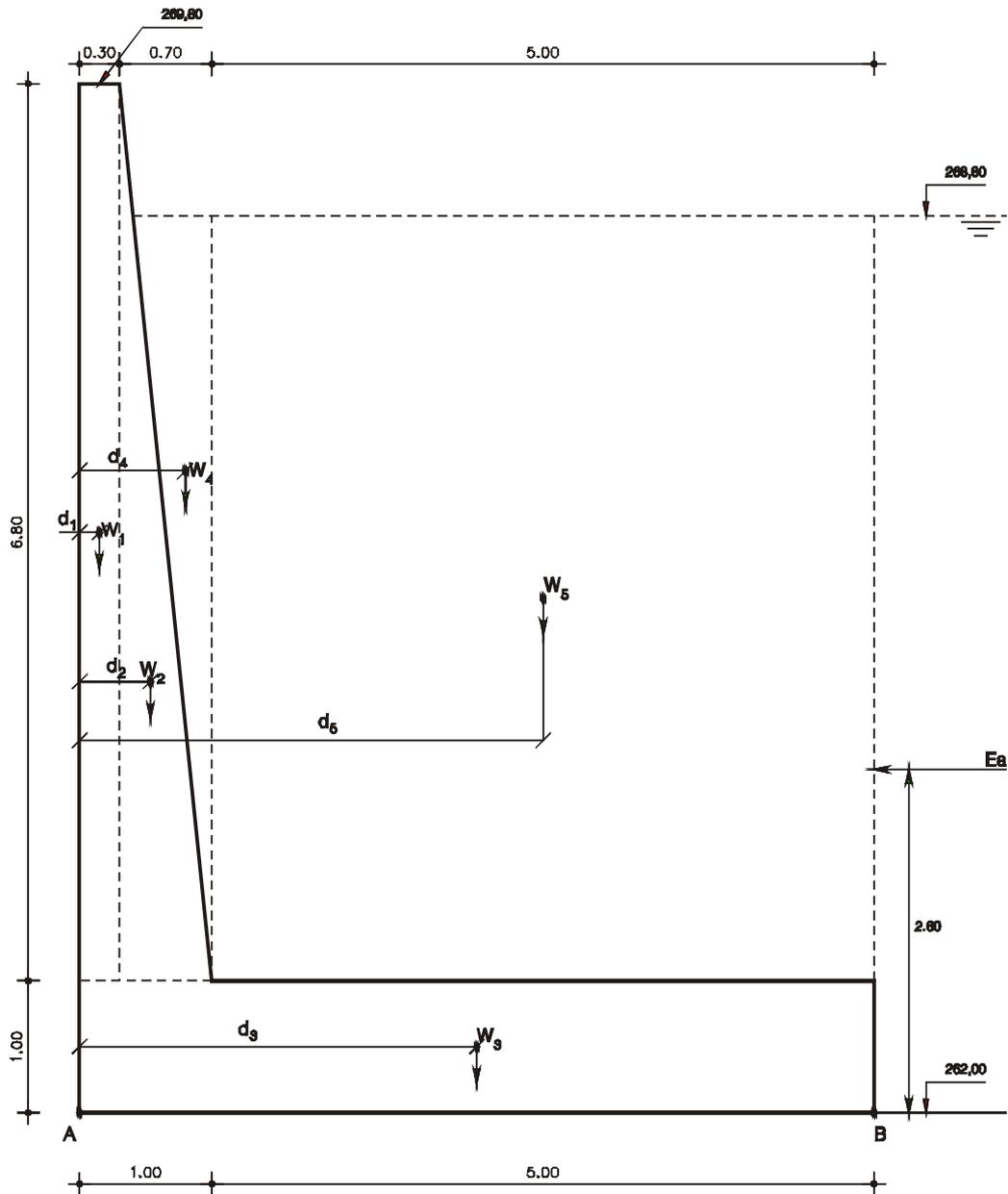
$$\Delta P = 0,0$$

Tem-se:

$$F = \pi \times 0,10 \times 4,0 \times (10 + 1,8 \times 2 \times tg 35^\circ)$$

$$F = 15,70tf \cong 18,00(atende)$$

14.5 – DIMENSIONAMENTO DOS MUROS LATERAIS



$$E_a = \frac{1}{2} \times 1,0 \times 7,8^2 = 30,42tf / m$$

$$W_1 = 0,30 \times 6,80 \times 2,50 = 5,10tf / m$$

$$W_2 = \frac{1}{2} \times 0,70 \times 6,80 \times 2,5 = 5,95tf / m$$

$$W_3 = 6,0 \times 1,0 \times 3,0 = 18,00$$

$$W_4 = \frac{1}{2} \times 0,70 \times 6,80 \times 1,0 = 2,38$$

$$W_5 = 5,0 \times 5,8 \times 1,0 = 29,00$$

14.5.1 – Cálculo da Abscissa da Resultante Vertical

$$d_1 = 0,15$$

$$d_2 = 0,53$$

$$d_3 = 3,0$$

$$d_4 = 0,80$$

$$d_5 = 3,0$$

Momento em torno do Ponto A

$$M = d_1 \times W_1 + d_2 \times W_2 + d_3 \times W_3 + d_4 \times W_4 + d_5 \times W_5$$

$$M = 0,15 \times 5,10 + 0,53 \times 5,95 + 3,00 \times 18,00 + 0,80 \times 2,38 + 35 \times 29,00 = 152,00$$

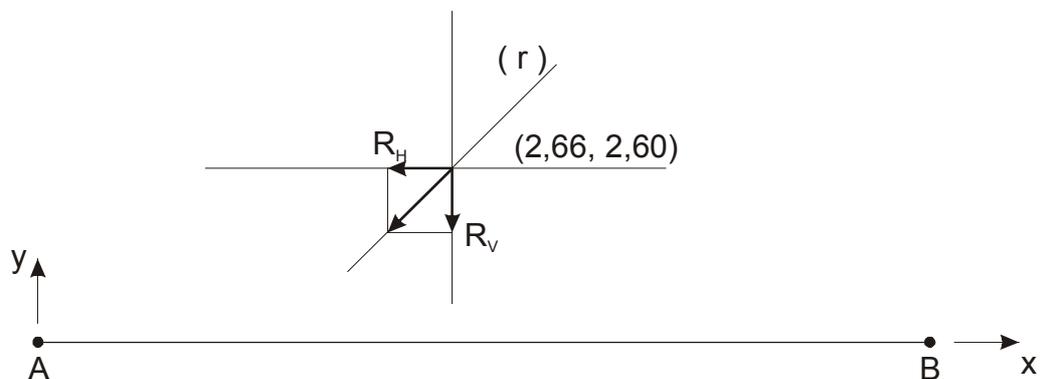
$$R_V \times X_V = M$$

$$X_V = \frac{161,32}{60,43} = 2,66$$

A ordenada da resultante horizontal é:

$$Y_H = 2,60$$

14.5.1 – Cálculo da Abscissa da Resultante Vertical



$$\operatorname{tg} \phi = \frac{R_V}{R_H} = \frac{161,32}{30,42} = 5,303$$

Equação da reta (r)

$$Y - 2,6 = 5,303 \cdot (X - 2,64)$$

$$Y = 5,303 \cdot X + 2,60 - 13,99$$

$$Y = 5,303 \cdot X - 11,39$$

Para $Y = 0$, tem-se:

$$X_R = 2,14$$

Cálculo da Excentricidade

$$e = \left| \frac{AB}{2} - X_R \right| = 0,80 < 1,0 \Rightarrow OK!$$

A resultante cai no terço central e as tensões serão de compressão.

- Verificação do Tombamento

$$F_s = \frac{M_R}{M_T}$$

$$F_s = \frac{161,32}{79,092} = 2,03$$

- Verificação do Escorregamento

$$V \cdot \operatorname{tg}\phi \geq 1,5 \cdot (H - C \cdot L)$$

$$\text{Adotando: } C = 2tf / m^2$$

$$H - CL = (30,42 - 2 \times 6) = 18,42$$

$$\phi = 38^\circ$$

$$\operatorname{tg}\phi = 0,781$$

$$V = 60,43$$

$$V \cdot \operatorname{tg}\phi = 47,19$$

Portanto:

$$V \cdot \operatorname{tg}\phi \geq 1,5 \times 18,42 = 27,63 \Rightarrow OK!$$

- Cálculo das Tensões na Base

$$\sigma_A = \frac{V}{AB} \times \left(1 + \frac{6 \cdot e}{AB} \right)$$

$$\sigma_A = \frac{60,43}{6,0} \times \left(1 + \frac{6 \cdot 0,80}{6} \right)$$

$$\sigma_A = 18,12tf / m^2 \Rightarrow OK!$$

$$\sigma_B = \frac{V}{AB} \times \left(1 - \frac{6 \cdot e}{AB} \right)$$

$$\sigma_B = \frac{60,43}{6,0} \times \left(1 - \frac{6 \cdot 0,80}{6} \right) = 2,01 \text{tf} / \text{m}^2 \Rightarrow \text{OK!}$$

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

(15 páginas)

planilha Cálculo de Quantidades

(10 páginas)