

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ  
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS DE DETALHAMENTO  
DOS ESTUDOS BÁSICOS E ELABORAÇÃO DO PROJETO  
EXECUTIVO E ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DA CONSTRUÇÃO

BARRAGEM JOÃO GUERRA  
MUNICÍPIO DE ITATIRA - CE

TOMO VI  
RELATÓRIO SÍNTESE

FORTALEZA-CE  
OUT/2006



## **ÍNDICE**

---

## ÍNDICE

	<b>Páginas</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO</b> .....	<b>10</b>
<b>3. PROJETO</b> .....	<b>13</b>
3.1. <i>CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E SANGRADOURO</i> .....	14
3.1.1. Fundação da Barragem.....	14
3.1.2. Fundação do Sangradouro.....	16
3.2. <i>Rebaixamento do Lençol Freático</i> .....	16
3.3. <i>Geometria da Trincheira de Fundação</i> .....	16
3.4. <i>Local de Bota-Fora</i> .....	17
3.5. <i>Tratamento das Fundações</i> .....	17
3.6. <i>Materiais de Construção</i> .....	17
3.7. <i>Características do Maciço da Barragem</i> .....	18
3.8. <i>Vazões de Percolação Pelo Maciço e Fundação</i> .....	24
3.9. <i>Análise de Estabilidade</i> .....	28
3.9.1. Método Bishop Simplificado.....	30
3.9.2. Programa Slope/W.....	31
3.9.3. Método de Análise.....	32
3.9.4. Geometria e Estratigrafia.....	32
3.9.5. Superfície de Escorregamento.....	32
3.9.6. Pressão Neutra.....	32
3.9.7. Propriedade do Solo.....	33
3.9.8. Definição do Problema.....	35
3.9.9. Resolução do Problema.....	35
3.9.10. Apresentação dos Resultados.....	35
3.9.11. Formulário.....	36
3.9.12. Resultados Obtidos.....	37
3.10. <i>Tomada D'Água</i> .....	38

<i>3.11. Sangradouro</i> .....	39
3.11.1. Perfil Creager .....	42
3.11.2. Bacia de Dissipação.....	44
<i>3.12. Apresentação do Projeto</i> .....	46
<b>4. EQUIPAMENTO MÍNIMO</b> .....	<b>47</b>
<b>5. RESUMO DOS INVESTIMENTOS</b> .....	<b>50</b>

## **1. INTRODUÇÃO**

---

## 1 – INTRODUÇÃO

A Empresa SLA – Consultoria e Projetos S/C Ltda e a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE) celebraram o contrato nº 28/SRH/2002 de 28/09/2002, que tem como objetivo a execução dos serviços de detalhamento dos estudos básicos e elaboração do Projeto Executivo e acompanhamento técnico da construção da Barragem João Guerra no município de Itatira, Ceará.

O EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS DE DETALHAMENTO DOS ESTUDOS BÁSICOS E ELABORAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO da Barragem João Guerra é apresentado em seis tomos, a saber:

TOMO 1 – Memorial Descritivo do Projeto

TOMO 2 – Desenhos

TOMO 3 – Memória de Cálculo

TOMO 4 – Especificações Técnicas

TOMO 5 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 6 – Relatório Síntese

O Memorial Descritivo do EXECUÇÃO DOS SERVIÇOS DE DETALHAMENTO DOS ESTUDOS BÁSICOS E ELABORAÇÃO DO PROJETO EXECUTIVO é desenvolvido a seguir abordando os seguintes tópicos:

2 – Localização e Acesso

3 – Projeto

4 – Resumo dos Investimentos

As principais características da Barragem João Guerra são mostradas na ficha técnica a seguir:

### **FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM JOÃO GUERRA**

#### **- Identificação**

Denominação:.....Barragem João Guerra

Estado:.....Ceará

Município:.....Itatira  
Rio Barrado:..... Treme (também conhecido localmente como rio São Joaquim)  
Coordenadas UTM (SAD-69):.....E=428.649 e N=9.484.644  
Proprietário:.....SRH/CE  
Autor do Projeto:.....SLA  
Data do Projeto:.....Julho/2006

- **Bacia Hidrográfica**

Área:.....134,26 km<sup>2</sup>  
Perímetro:.....57,60 km  
Declividade Média:.....7,37 m/km  
Comprimento do Rio Principal:.....21,70 km  
Fator de Compacidade:.....1,40  
Fator de Forma:.....0,29  
Pluviosidade Média Anual:.....858,5 mm  
Evaporação Média Anual:.....2.069,5 mm  
Inundação Média Anual:.....2.760,7 h  
Umidade Relativa Média Anual: .....65,5%  
Classificação Climática: .....DS2A'a'  
Classificação Climática (Koeppen): .....WBx'

- **Características do Reservatório**

Área da Bacia Hidráulica (cota 374,00 m):.....82,88 ha  
Volume Acumulado (cota 374,00 m):.....4,43 hm<sup>3</sup>  
Volume Afluente Médio Anual:.....1,19 hm<sup>3</sup>/ano  
Vazão Regularizada (90%):.....40 l/s  
Vazão Afluente Máxima de Projeto (TR=1.000 anos):.....1.091 m<sup>3</sup>/s  
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):.....1.021 m<sup>3</sup>/s

Vazão Afluente Máxima de Projeto (TR=10.000 anos):.....1.416 m<sup>3</sup>/s  
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=10.000 anos):.....1.330 m<sup>3</sup>/s  
Nível d'água Máximo Normal:.....374,00 m  
Nível d'água Máximo (TR=1.000 anos).....376,90 m  
Nível d'água Máximo Maximorum (TR=10.000 anos):.....377,40 m

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

Altura Máxima:.....19,68 m  
Largura do Coroamento:.....6,00 m  
Extensão pelo Coroamento:.....435,38 m  
Cota do Coroamento:.....378,00 m  
Largura Máxima da Base:.....90,00 m  
Talude de Montante:.....1,0 (V) : 2,5 (H)  
Talude de Jusante:.....1,0 (V) : 2,0 (H)

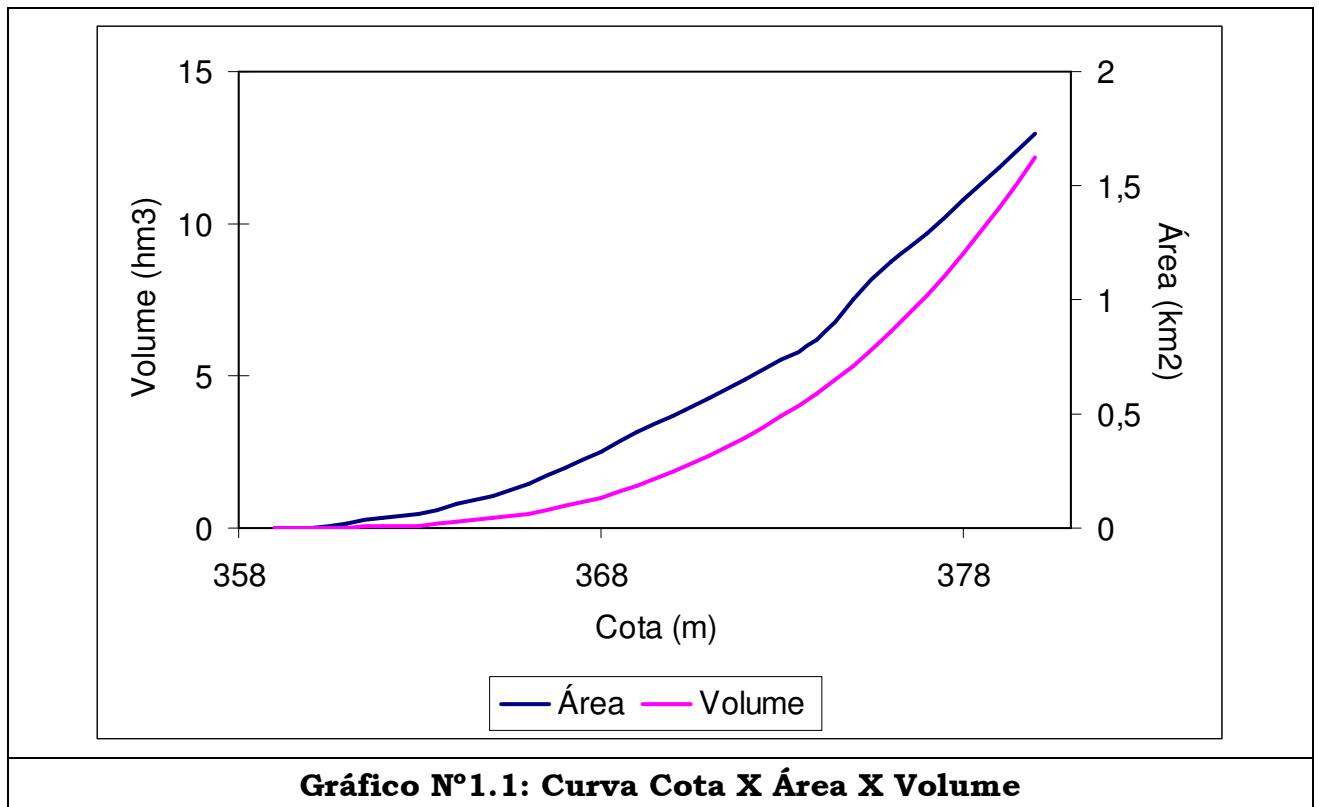
- **Sangradouro**

Largura:.....100,00 m  
Canal do Sangradouro:  
Largura: .....100,00 m  
Elevação:.....370,00 m  
Extensão:.....868,18 m  
Bacia de Dissipação:  
Largura: .....100,00 m  
Elevação:.....270,00 m  
Extensão:.....26,00 m  
Cota da Ogiva:.....374,00 m

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



<b>Tabela Nº 1.1: Curva Cota x Área x Volume</b>			
<b>Cota</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume Acumulado (m<sup>3</sup>)</b>
359,00	0	0	0
360,00	3.231,60	1.615,80	1.615,80
361,00	14.190,62	8.711,11	10.326,91
362,00	42.422,14	28.306,38	38.633,29
363,00	64.460,61	53.441,38	92.074,67
364,00	103.618,03	84.039,32	176.113,99
365,00	139.573,26	121.595,65	297.709,63
366,00	194.346,79	166.960,03	464.669,66
367,00	262.637,75	228.492,27	693.161,93
368,00	331.975,24	297.306,50	990.468,42
369,00	419.876,20	375.925,72	1.366.394,14
370,00	493.321,83	456.599,02	1.822.993,16
371,00	568.164,48	530.743,16	2.353.736,31
372,00	648.087,79	608.126,14	2.961.862,45
373,00	736.378,20	692.233,00	3.654.095,44
374,00	828.769,84	782.574,00	4.436.669,46
375,00	998.312,78	913.541,31	5.350.210,77
376,00	1.165.554,33	1.081.933,56	6.432.144,33
377,00	1.285.513,66	1.225.534,00	7.657.678,32
378,00	1.438.066,90	1.361.790,28	9.019.468,00
379,00	1.575.963,70	1.507.015,30	10.526.483,90
380,00	1.729.247,30	1.652.605,50	12.179.089,40



## **2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

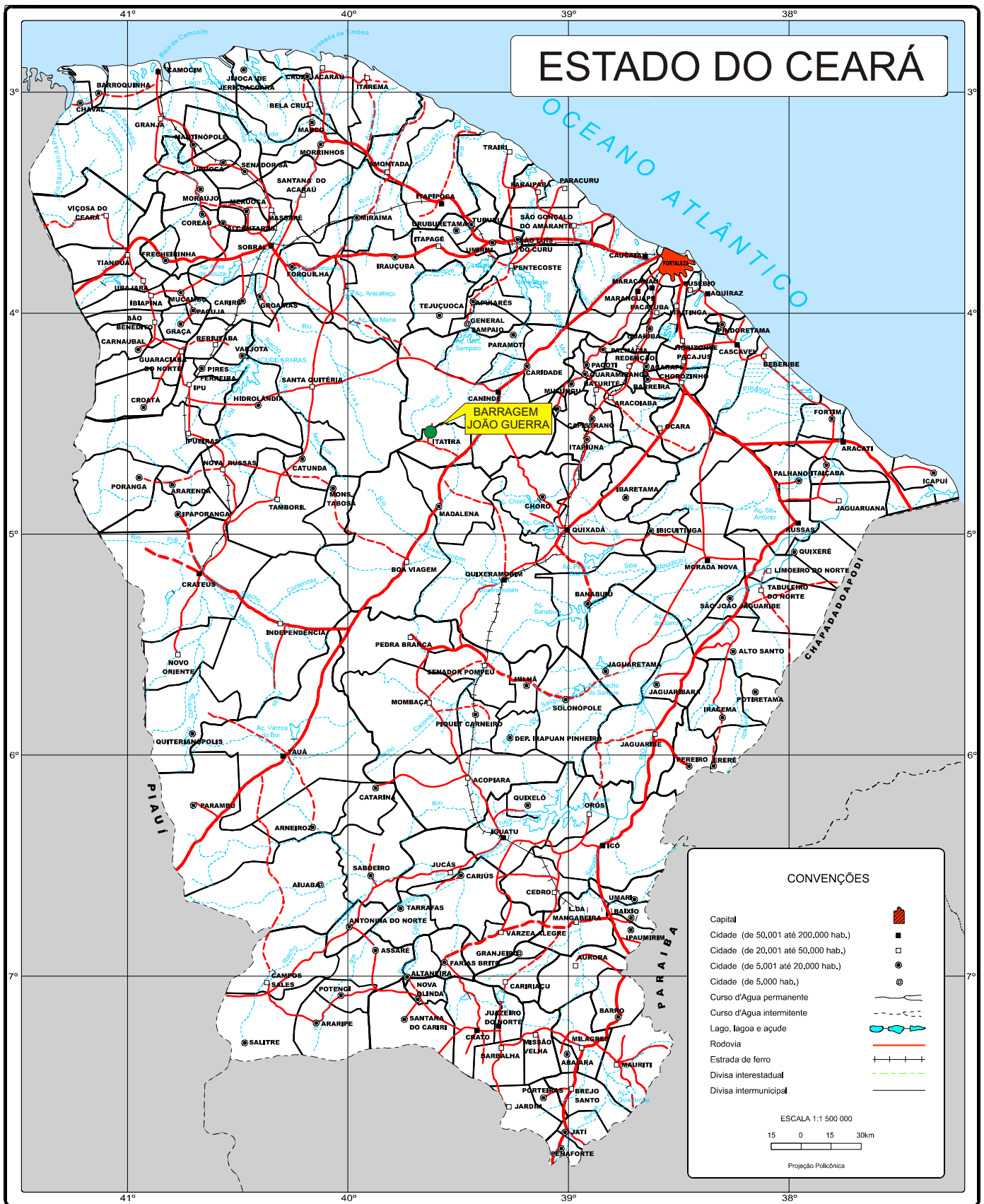
---

## **2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO**

A área em estudo localiza-se no Centro Norte do estado do Ceará, na microregião da Bacia do Banabuiu, mais precisamente próximo a localidade de Boa Vista, a jusante do distrito de Lagoa do Mato, no município de Itatira, podendo ser acessado por via rodoviária, partindo de Fortaleza pela /BR-020, percorrendo 165 km até a localidade de São José de Macaoca, onde toma-se a CE-366 percorrendo mais 25 km até a localidade de Boa Vista, a direita da rodovia.

O eixo barravel encontra-se materializado no campo por marco de concreto cujas coordenadas são: E=428.649 e N=9.484.644.

No mapa da Figura 2.1 é apresentado, no âmbito do Estado, o local do barramento.



**FIGURA - 2.1**  
**MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM**

### **3. PROJETO**

---

### **3. PROJETO**

#### **3.1. CARACTERIZAÇÃO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM E SANGRADOURO**

A análise das características geotécnicas dos horizontes de fundação da barragem e sangradouro foi feita a partir do exame dos perfis individuais da campanha de sondagens realizadas durante a investigação geotécnica.

##### **3.1.1. Fundação da Barragem**

Visando caracterizar os materiais que constituem o subsolo no local do futuro barramento, foram executadas 17 sondagens, sendo oito a percussão e nove mista, ou seja, iniciada a percussão e prosseguidas com sonda rotativa diâmetro  $\phi=NX(-)$ .

Na ombreira esquerda, trecho que se desenvolve entre as estacas 0=0 e 8 do levantamento, foram executada as sondagens SP-01, SM-01 e SM-02. Examinando estas sondagens verifica-se que a camada superficial com profundidade variando de 3,80m a 6,40m foi perfurada pelo processo a percussão com medida do SPT. Verificou-se que os SPT'S encontrados foram em geral elevados maiores que 30 golpes. Só na sondagem SP-01 executada na estaca 7 do eixo foi encontrado o primeiro SPT igual a 5 golpes. Os materiais encontrados constituem de uma camada com espessura variando de 0,30m a 1,00m formada de silte argiloso e silte areno argiloso amarelo variegado sobrepostos a camada com espessura variando de 3,50m a 5,50m formada de silte arenoso micáceo que caracteriza o solo residual.

Nas sondagens mista SM-01 e SM-02 foram executados oito ensaios de infiltração tipo "LEFRANC" que mostrou que a permeabilidade é da ordem de  $1,8 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ . As sondagens mista SM-01 e SM-02 penetraram 6,0m e 16,0m respectivamente no maciço rochoso que mostrou que este é constituído de gnaiss macia a muito macia. A permeabilidade encontrada desse maciço foi de  $3,4 \times 10^{-6} \text{cm/s}$ .

Para esse trecho, a fundação da barragem consistirá no assentamento dos espaldares sobre o terreno após a escavação obrigatória de 1,0m e o cut-off prosseguir até o horizonte rochoso.

A calha do rio, trecho que se desenvolve entre as estacas 8 e 15, foi estudado através da execução das sondagens SP-02, SP-03, SP-04, SP-05, SP-06, SM-03, SM-04, SM-05 e SM-06. Examinando essas sondagens verifica-se que entre as estacas 10 e 14 localiza-se o leito do rio Treme (também conhecido localmente como rio São Joaquim) e entre as estacas 8 e 10 e 14 e 15 localizaram-se as zonas de passagem do leito do rio para as ombreiras.

A zona do leito do rio foi identificada pelas sondagens SM-03, SP-05 e SM-06, ao longo do eixo, nas estacas 10+11,80, 12+10,00 e 14. E pelas sondagens SM-04, SM-05, SP-06 e SP-07 executadas fora do eixo.

As camadas do aluvião são compostas por estratos formados de areia siltosa, areia fina e média siltosa, silte arenoso e silte areno argiloso. A profundidade desse sedimento varia de 5,81m a 8,05m. Ao longo dessas sondagens foram realizados vários ensaios de permeabilidade tipo “LEFRANC”, verificou-se que as permeabilidades encontradas variam de  $2,0 \times 10^{-1} \text{cm/s}$  a  $2,0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ .

O maciço rochoso desse trecho foi investigado nas sondagens SM-03, SM-04, SM-05 e SM-06. A rocha encontrada foi gnaisse moderadamente dura a gnaisse dura.

Para fundar a barragem nesse trecho previu-se uma escavação obrigatória entre as estacas 11 a 15 de 3,0 metros e aprofundar o cut-off até o topo rochoso.

Na ombreira direita, trecho que vai da estaca 15 até a estaca 27 do levantamento, foram executadas as sondagens SP-08, SM-07, SM-08 e SM-09, para identificar o perfil geotécnico do subsolo. Examinando estas sondagens verifica-se que o capeamento de solo é constituído pelos materiais silte areno argiloso e silte arenoso micáceo com pedregulhos cinza e amarelo que caracteriza o solo residual. A camada de solo tem espessura variando de 1,45 a 5,0m. Nas sondagens mistas SM-07, SM-08 e SM-09 foram executados ensaios de



infiltração tipo “LEFRANC”, os resultados mostraram que as permeabilidades variam de  $2,2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$  a  $2,0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ .

### **3.1.2. Fundação do Sangradouro**

O local previsto para implantação do sangradouro foi investigado geotecnicaamente através da realização de nove sondagens SM-09, SM-10, SM-11, SM-12, SM-13, SM-14, SM-15, SM-16 e SM-17. As sondagens SM-09, SM-10, SM-11 e SM-12 foram executadas ao longo do eixo transversal. As sondagens SM-13 e SM-14 foram executadas a jusante do eixo transversal e as sondagens SM-15, SM-16 e SM-17 foram executadas a montante do eixo transversal. Examinando os perfis destas sondagens verifica-se que o horizonte de rocha dura, formada por biotita-xisto, se encontra por volta da cota 375,00m. O canal de sangria está previsto ser escavado na cota 370,0m. As estruturas de concreto ciclópico serão assentes nesta cota.

### **3.2. REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO**

As sondagens executadas na calha do rio mostraram que o nível d'água se encontra acima do nível das escavações desta forma será necessário a execução do rebaixamento do lençol freático com uso de um sistema de ponteiras (Well Point). Esse rebaixamento poderá ser executado por trecho de extensão superior a 50,00m.

O rebaixamento do lençol freático permitirá a escavação da fundação a seco sem o risco de formação de areia movediça.

### **3.3. GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO**

A trincheira de fundação cut-off será escavada nas profundidades prevista no projeto. A forma geométrica da cava é de um trapézio com base inferior abaixo da base superior. Ela será escavada para montante. A escavação inicia no ponto de encontro do paramento de montante do filtro vertical com a base do tapete drenante. A escavação se dá em talude de 1:1. Duas situações podem ser encontradas. A primeira para escavações igual ou menores que 4,0m o trapézio será formado por base menor, maior que 6,0m, lados inclinados em taludes de

1:1 e base maior variável. A segunda situação acontece para escavação com profundidade maior que 4,0m. Neste caso, atingindo os 4,0 metros será executada uma berma de 2,0m de largura e em seguida a escavação prossegue em talude de 1:1 até a profundidade de projeto. A base menor é maior que 6,0m. A geometria nesse caso é formada por dois trapézios um sobre o outro.

#### 3.4. LOCAL DE BOTA-FORA

Os materiais excedentes das escavações obrigatórias serão colocados para o lado de montante ocupando os espaços abaixo da cota 362,0m.

#### 3.5. TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES

Examinando os resultados dos ensaios de perda d'água em rocha do tipo LUGEON verifica-se que em vários horizontes do maciço rochoso obteve-se perda d'água específica bem maiores que 1,0l/min/m/atm. Por essa razão está sendo prevista a execução de uma cortina de injeção entre as estacas 8 e 20. Essa cortina deverá ter 12,0 metros de profundidade no maciço rochoso fraturado. A cortina será executada no eixo do cut-off com furos espaçados de 6,0 em 6,0m denominados primários, nessa linha os furos espaçados de 18,0 em 18,0m serão denominados exploratórios e serão executados inicialmente com sonda rotativa diâmetro  $\phi$ NX(75,3mm). Nesses furos, serão executados ensaios de perda d'água de 3,0 em 3,0 metros. Os demais furos dessa linha serão executados com equipamento roto-percussor.

Os furos injetados que consumirem mais de 30kg de cimento por metro serão reforçado quanto a estanqueidade através da execução de dois furos adjacentes colocados a meia distância dos furos primários. Se nesses furos secundários persistir o consumo elevado mais dois furos serão executados, à meia distância os furos serão denominados terciários de ordem quarta, de ordem quinta etc., o processo prosseguirá até que o segmento seja tratado até a estanqueidade ou permita a passagem do fluxo de baixíssima vazão que resulte numa perda d'água menor que 1,0l/min/m/atm.

#### 3.6. MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Para construção da Barragem foram estudadas as jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04, os areais A-01 e A-02 na calha do riacho Treme e seu afluente riacho Santa Rosa e previu-se o aproveitamento das escavações do sangradouro para retirada dos materiais pétreos, que foi denominado de pedreira P-01.

As jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04 são constituídas de materiais do tipo areia argilosa e argila de baixa plasticidade.

Os areais são formados por areia de graduação pobre SP com módulo de finura 3.1, que enquadra essa areia como areia média.

O maciço da Barragem prevê o uso da jazida J-01 (as jazidas J-02, J-03 e J-04 são ocorrências de reserva) e caso necessário serão utilizadas as jazidas J-03 e J-04 que se localizam um pouco mais distante.

### 3.7. CARACTERÍSTICAS DO MACIÇO DA BARRAGEM

A Barragem foi concebida após contemplar as características dos materiais disponíveis juntamente com a feição geológica dos materiais que formam o perfil do subsolo no local do barramento.

A análise desses condicionantes levaram a escolher uma Barragem com seção homogênea de solo formada com materiais da jazida J-01 e se necessário as jazidas J-02, J-03 e J-04.

A Barragem ficará com coroamento na cota 378,00m, com altura máxima de 19,68m.

A crista da Barragem terá 6,00m de largura com caimento de 2% para montante. A camada final com 0,30m de espessura será executada com cascalho argiloso. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios com abertura para montante.

O talude de montante terá inclinação de 1:2,5 (V:H) em toda a sua extensão. O talude de montante será protegido da ação da energia da onda no reservatório com a construção de um rip-rap. O rip-rap será formado por uma camada de

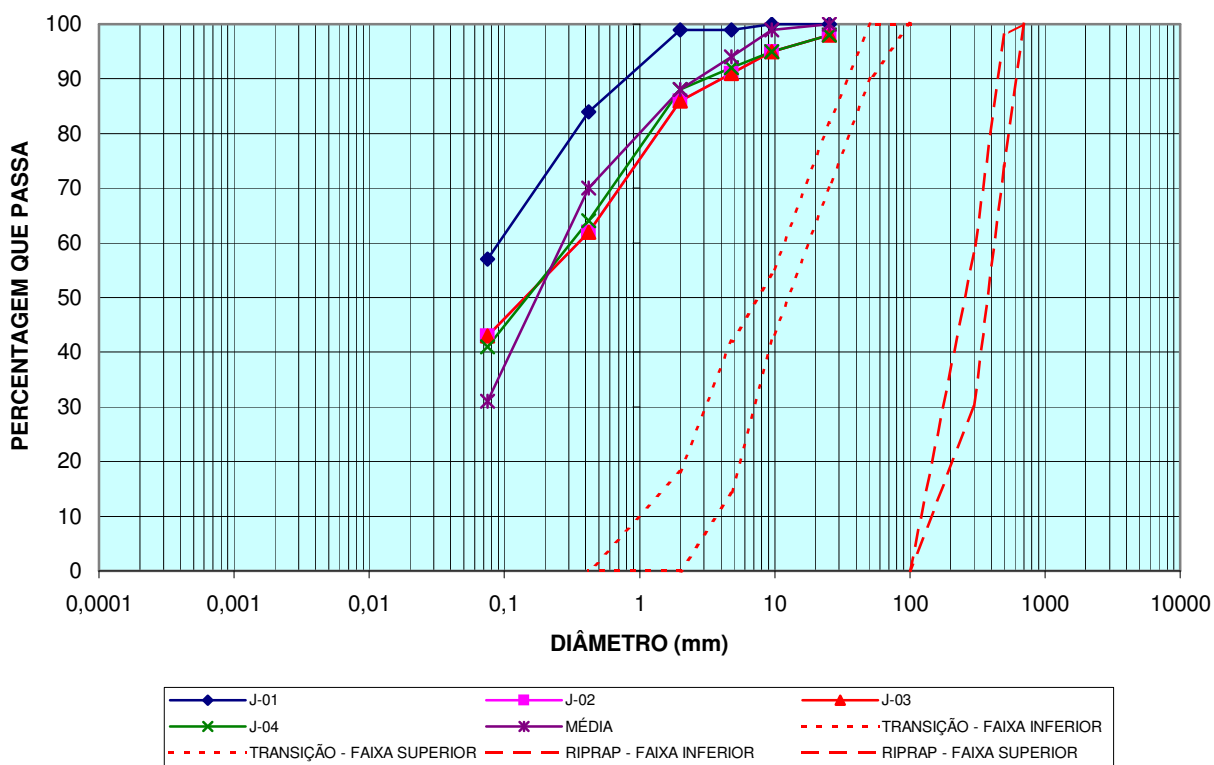
0,70m de espessura de blocos de rocha são assente sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura, formada do produto de britagem.

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

<b>QUADRO Nº3.1: MATERIAL DO ENROCAMENTO DO RIP-RAP</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
700mm	100
600mm	74-98
500mm	4-58
350mm	0

<b>QUADRO Nº3.2: MATERIAL DE TRANSIÇÃO</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
200mm	100
100mm	100
2" (50,8mm)	90-100
1" (25,4mm)	70-82
3/8" (9,52mm)	42-54
Nº4 (4,76mm)	14-42
Nº10 (2,00mm)	0-18
Nº40 (0,42mm)	0

### CURVA GRANULOMÉTRICA: MACIÇO - TRANSIÇÃO - RIPRAP

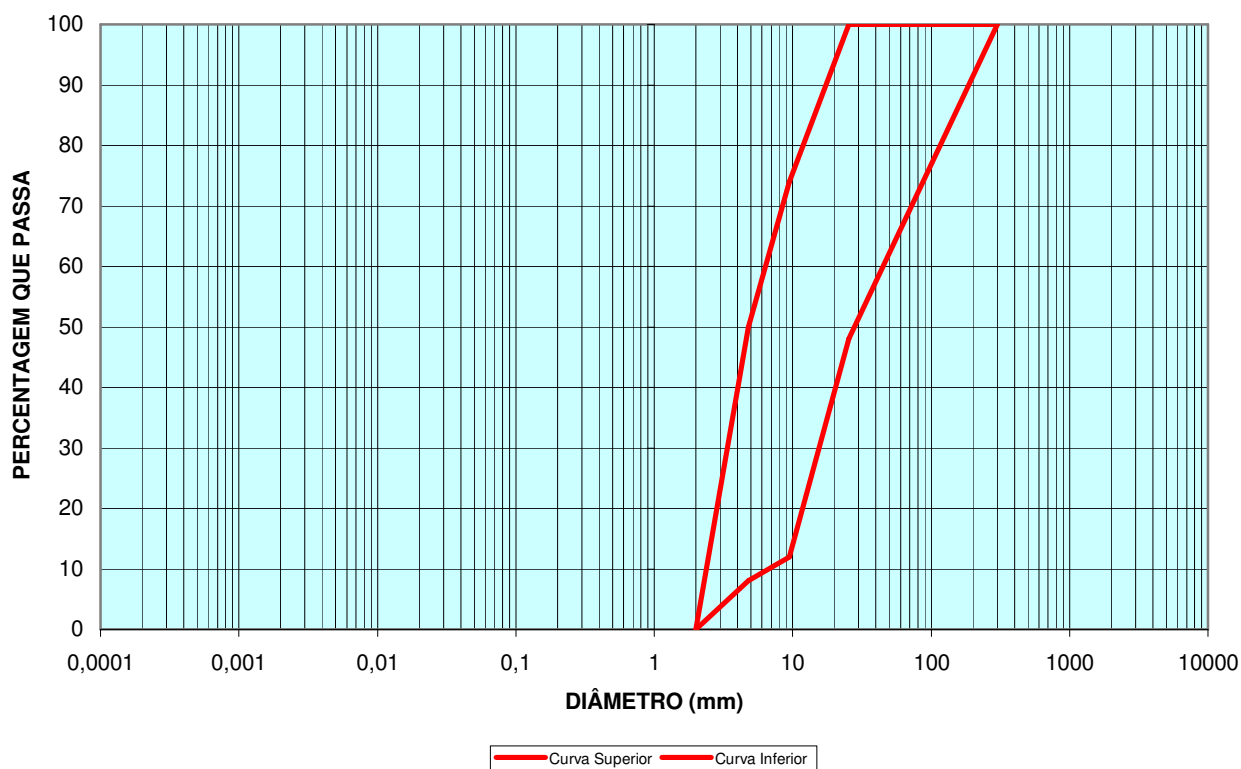


O talude de jusante terá inclinação de 1:2 (V:H) em toda sua extensão. Será colocada uma berma com 2,0m de largura na cota 370,00m. A proteção do talude de jusante será feita através da construção de uma camada de brita ou cascalho natural com 0,30m de espessura, cuja a granulometria é mostrada no Quadro N°3.3, a seguir:

QUADRO N°3.3: MATERIAL DE PROTEÇÃO DO TALUDE DE JUSANTE	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
300mm	100
1" (25,4mm)	48-100
3/8" (9,5mm)	12-74
N°4 (4,8mm)	8-50
N°10 (2,0mm)	0

No Gráfico N°3.2 é mostrada a faixa granulométrica dos materiais constituintes do enrocamento de proteção do talude de jusante.

### CURVA GRANULOMÉTRICA: ENROCAMENTO DO TALUDE DE JUSANTE



Para a drenagem interna do maciço da Barragem João Guerra, está previsto a construção de um filtro vertical e um tapete drenante. O filtro vertical e o tapete drenante terão 1,0m de espessura e serão executados com areia dos areais A-01 e A-02. O filtro vertical ficará com o topo na cota 376,83m, que coincide com o nível no lago quando da ocorrência da cheia decamilenar. O filtro vertical e o tapete drenante serão executados dentro da Barragem nos seguintes locais:

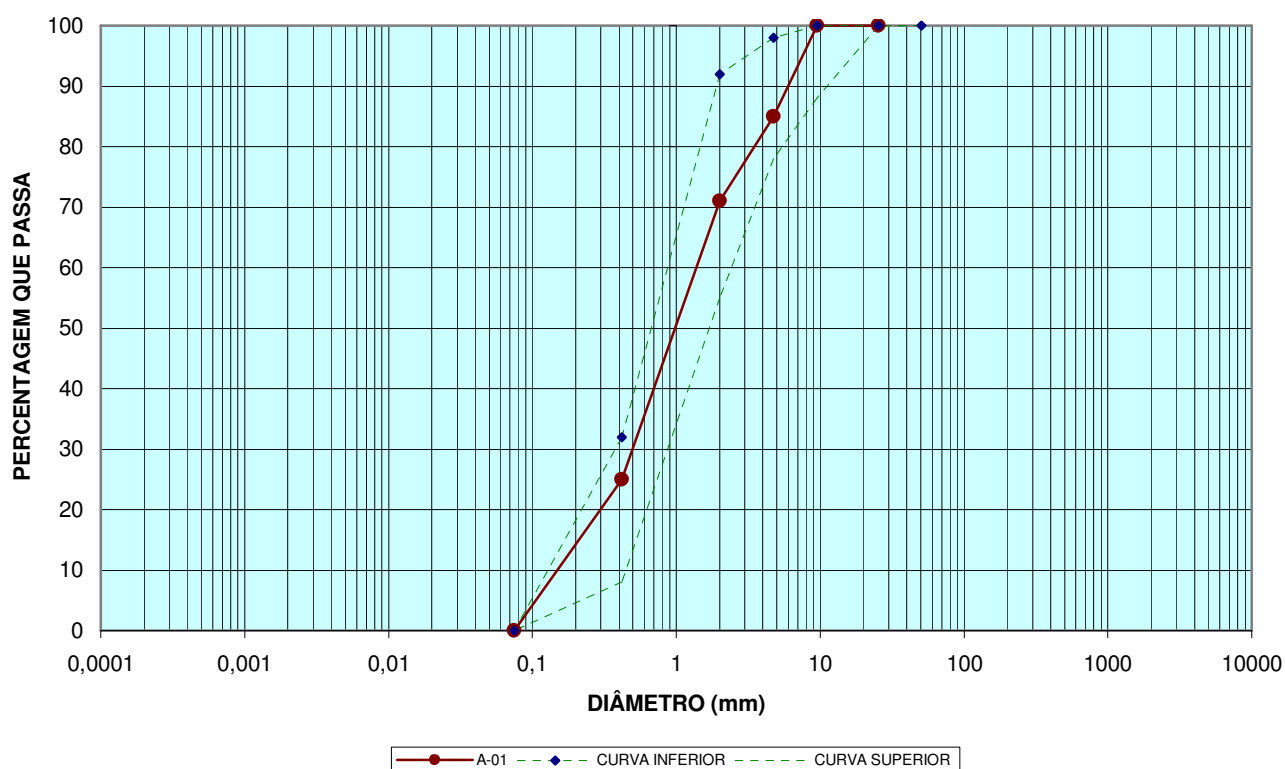
- O filtro vertical inicia na estaca 6 e vai até a estaca 23+6,02;
- O tapete horizontal inicia na estaca 6. Da estaca 6 a estaca 7 o tapete não se estende até o pé de jusante. Da estaca 7 até a estaca 23+6,02 o tapete é pleno.

No Quadro N°3.4 é mostrado a faixa granulométrica a qual a areia grossa deverá estar enquadrada para formar o filtro e o tapete horizontal do sistema de drenagem interna da Barragem.

QUADRO N°3.4: AREIA GROSSA	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	100
3/8" (9,5mm)	88-100
N°4 (4,76mm)	78-98
N°10 (2,0mm)	55-92
N°40 (0,42mm)	8-32
N°200 (0,075mm)	0

No Grafico N°3.3 são mostradas as faixas granulométricas da areia grossa que formará o sistema de drenagem interna da Barragem.

### CURVA GRANULOMÉTRICA: AREIA GROSSA



Entre as estacas 7 e 23+6,02 será executado um dreno de pé de talude de jusante (rock-fill) em seção trapezoidal com 2,0m de altura, consistindo em um enrocamento de pedras. A crista terá largura de 2,0m e os taludes do trapézio serão de 1:1,5 (V:H). Entre as interface da base e do terreno natural e do parâmetro interno e maciço da Barragem serão colocadas camadas de transição com 0,60m de espessura, sendo 0,30m de areia grossa e 0,30m de brita "A".

A areia grossa que formará a transição do rock-fill deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro N°3.4. A brita da transição do rock-fill, denominada brita “A”, deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro N°3.5, a seguir:

<b>QUADRO N°3.5: BRITA “A”</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
2” (50,8mm)	100
1” (25,4mm)	92-98
3/8” (9,2mm)	40-92
N°4 (4,8mm)	10-72
N°10 (2,0mm)	0-16
N°40 (0,42mm)	0

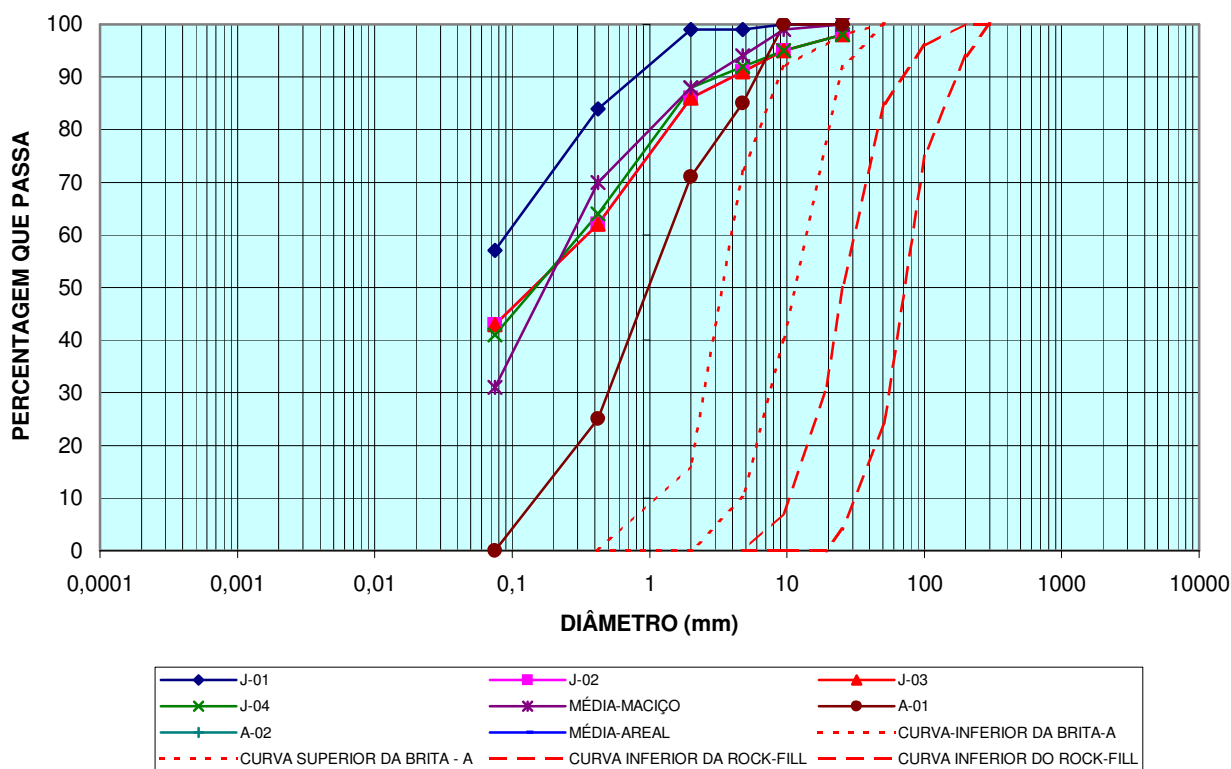
O enrocamento do rock-fill deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro N°3.6, a seguir:

<b>QUADRO N°3.6: ENROCAMENTO DO ROCK-FILL</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)</b>
300mm	100
200mm	94-100
100mm	75-96
2” (50,8mm)	24-85
1” (25,4mm)	4-50
¾” (19,1mm)	0-30
3/8” (9,5mm)	0-70
N°4 (4,76mm)	0

No Gráfico N°3.4 são mostradas as faixas granulométricas dos materiais que formam o sistema de drenagem interna da Barragem, ou seja, areia grossa, brita “A” e enrocamento do dreno de pé.



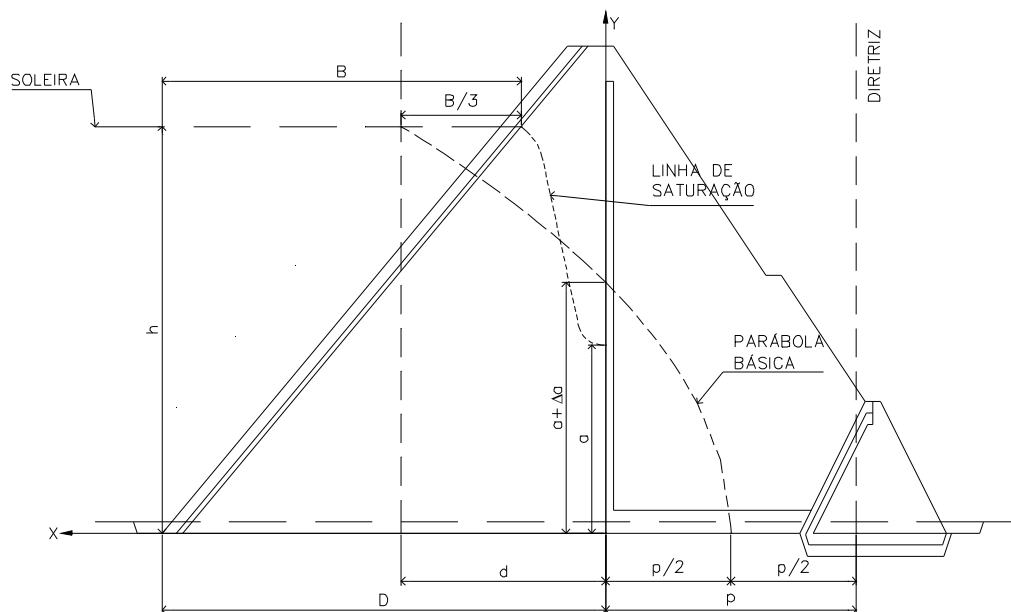
### CURVA GRANULOMÉTRICA: MACIÇO/FILTRO-TAPETE/BRITA-A/ ROCK-FILL



### 3.8. VAZÕES DE PERCOLAÇÃO PELO MACIÇO E FUNDAÇÃO

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

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



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

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

Onde:

$(x, y)$  = ponto da curva

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

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

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

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

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

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

Onde:

$x_r$  = Abscissa transformada

$x$  = Abscissa real

$k_x$  = Permeabilidade na direção horizontal

$k_y$  = Permeabilidade na direção vertical

Sendo assim:

$$x_r = d_r = d \cdot \sqrt{\frac{1}{9}} = \frac{d}{3}$$

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  $P$  obtem-se a vazão de percolação pelo maciço que é dada pela expressão:

$$Q_M = K \cdot P$$

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

Para:  $K_y = 4,8 \times 10^{-9} \text{ m / s}$  e  $p = 8,20 \text{ m}$ .

$$Q_M = 1,18 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

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

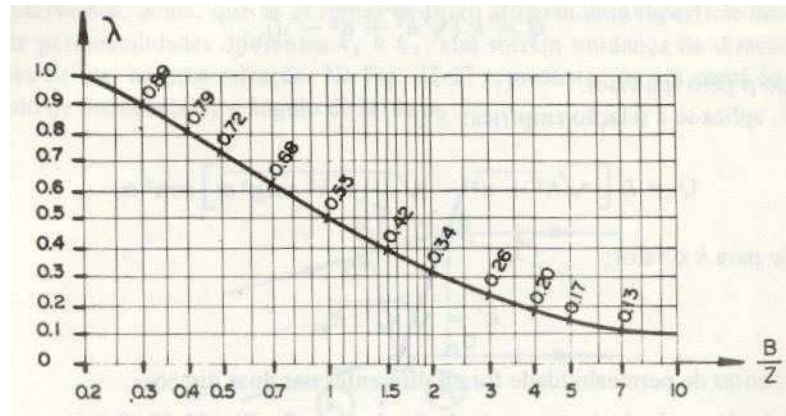
$h$  = Carga hidraulica

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

$Z$  = Espessura do maciço permeável

$B$  = Extensão da zona impermeável de montante incluindo o tapete

$\lambda$  é obtido do gráfico abaixo



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

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

$$K_f = 3K_y$$

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

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

Para:  $B \cong 40,0 \text{ m}$

$$\frac{B}{Z} = \frac{40}{10} = 4$$

$$\lambda = 0,20$$

$$q = 0,20 \times 3 \times 10^{-6} \times 16 = 9,6 \times 10^{-6} \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

### 3.9. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

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

A geometria da Barragem João Guerra 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 0,10.

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

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

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

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

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

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

### c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

O Quadro nº3.7 mostrado a seguir, indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

QUADRO Nº3.7: PARÂMETROS GEOTÉCNICOS				
Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\phi$ (graus)	$R_u$
Riprap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço (Espaldar de Montante)	20,6	14,0	32,6°	0,10
Maciço (Espaldar de Jusante)	20,0	6,0	33,4°	0,10
Filtro / Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00

#### 3.9.1. Método Bishop Simplificado

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

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

O coeficiente de segurança é dado pela expressão:

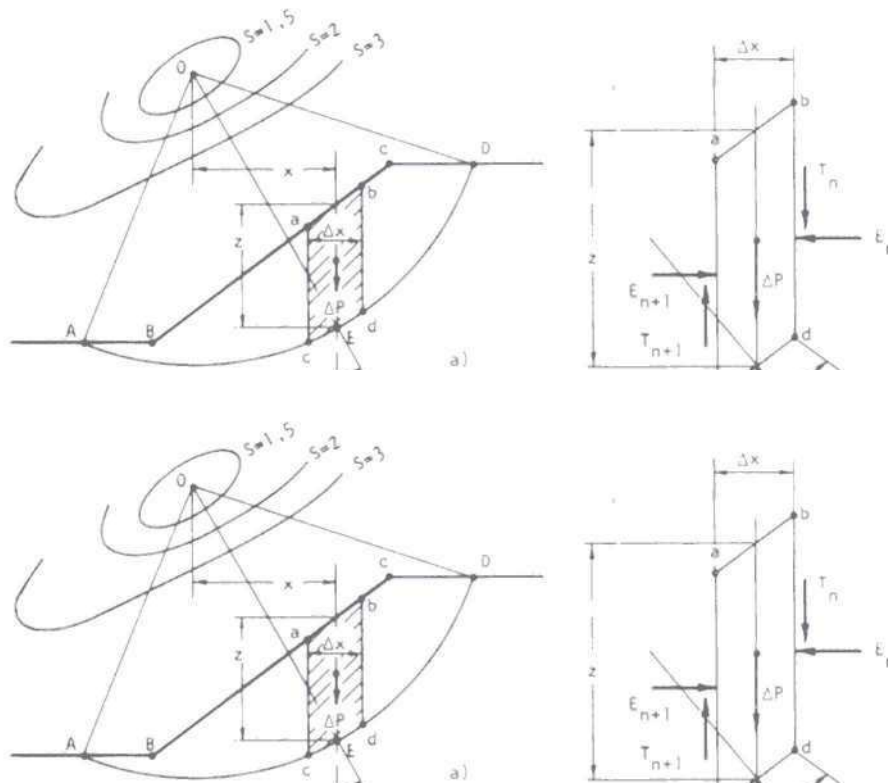
$$S = \frac{1}{\sum \Delta P \operatorname{sen} \alpha} \times \sum \cdot C' \cdot \Delta X + \operatorname{tg} \phi' \cdot \Delta P (1 - \bar{B}) \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{tg} \alpha}{S_0}}$$

Onde:

$C'$  = coesão efetiva.

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

Os demais elementos são mostrados na figura abaixo:



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

### 3.9.2. Programa Slope/W

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

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

- Métodos de Análise;
- Geometria e Estratigrafia;
- Superfície de Escorregamento;



- Pressão Neutra;
- Propriedade do Solo;
- Definição do Problema;
- Resolução do Problema;
- Apresentação dos Resultados;
- Formulário.

### **3.9.3. 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.

### **3.9.4. 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.

### **3.9.5. 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.

### **3.9.6. 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  $u$  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.

### 3.9.7. 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 Coesa 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 cômada. Isto é usado para a análise de taludes de escavação;
- **Anisotropia na Força Cisalhante:** O SLOPE/W tem uma inúmera maneiras para modelar a anisotropia dos parâmetros da tensão cisalhante, refletindo na variação da prática da engenharia utilizada ao longo do mundo.
- **Envoltória da Tensão Cisalhante:** Nos casos onde a envoltória de ruptura de Mohr-Coulomb linear ou bilinear são insuficientes para modelar a tensão cisalhante do solo, o SLOPE/W tem a capacidade de especificar uma curva geral relacionando a tensão cisalhante e a tensão normal. Isto é a forma mais genérica de especificar a tensão cisalhante.
- **Tensão Cisalhante Baseada na Tensão Normal com a Força Não-Drenada Máxima:** Junto com este modelo, a tensão cisalhante é baseada na coesão e no ângulo de atrito para a força não-drenada máxima. Tanto a coesão e o ângulo de atrito podem variar junto com a profundidade da superfície do terreno ou junto com a elevação acima do datum;
- **Tensão Cisalhante Baseado na Sobrecarga da Pressão Efetiva:** A tensão cisalhante do solo neste modelo é diretamente relacionada com a pressão efetiva de sobrecarga por um fator específico, por isso aumenta linearmente junto com a profundidade abaixo da superfície do terreno.

### **3.9.8. 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.

### **3.9.9. Resolução do Problema**

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

### **3.9.10. Apresentação dos Resultados**

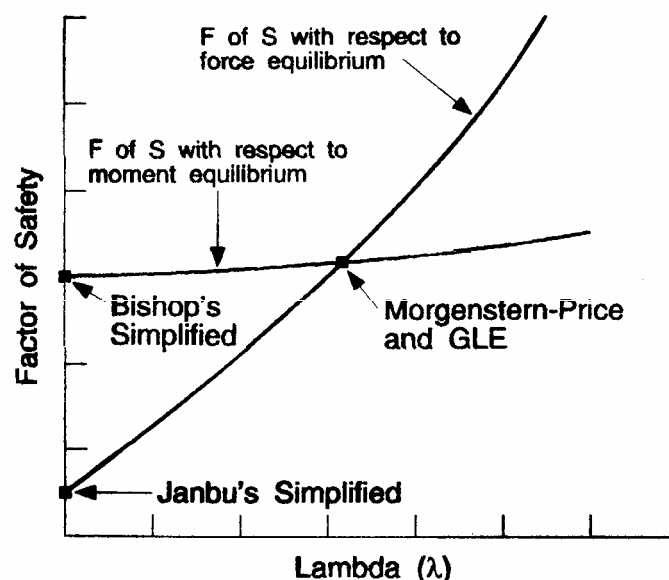
O programa CONTOURN é utilizado para visualizar os resultados, onde graficamente são mostrados todas as superfícies de escorregamento em teste e os

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.

### 3.9.11. Formulário

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

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



**FIGURA Nº3.1: FATOR DE SEGURANÇA X LAMBDA**

Na Figura N:3.1 apresenta o gráfico do fator de segurança versus  $\lambda$ . Duas curvas são mostradas na figura. Uma curva representa o fator de segurança em relação com o momento de equilíbrio e a outra curva representa o fator de segurança com relação a força de equilíbrio. No Método Bishop Simplificado usa-se a força normal, mas não força de cisalhamento entre as fatias ( $\lambda=0$ ) e somente satisfaz o momento de equilíbrio. Conseqüentemente, o fator de segurança Bishop está no eixo vertical da esquerda do gráfico. No método Janbu Simplificado também utiliza-se a força normal, mas não há força de cisalhamento entre as fatias e satisfaz somente a força de equilíbrio. O fator de segurança Janbu é, por isso, também localizado no eixo vertical da esquerda do gráfico. Nos métodos Morgenstern-Price e GLE utilizam-se ambos as forças normal e de cisalhamento entre as fatias e ambas satisfazem a força e o momento de equilíbrio; o resultado do fator de segurança é igual ao valor da interseção das duas curvas de fator de segurança. Na Figura N°5.1 mostra como geralmente a formulação do SLOPE/W possibilita calcular o fator de segurança dos vários métodos.

### 3.9.12. Resultados Obtidos

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

a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados no Quadro n°3.8:

QUADRO N°3.8: ANÁLISE DE ESTABILIDADE - ESTÁTICA				
SIMULAÇÃO	C.S. MÍNIMO	SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO		
		SUPERFICIAL	INTERMEDIÁRIA	PROFUNDA
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	2,237	1,820	1,805
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	2,030	1,677	1,670
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	2,030	1,670	1,505
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,1	1,614	1,150	1,193

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°3.9:

<b>QUADRO N°3.9: ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ABALO SÍSMICO</b>				
<b>SIMULAÇÃO</b>	<b>C.S. MÍNIMO</b>	<b>SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO</b>		
		<b>SUPERFICIAL</b>	<b>INTERMEDIÁRIA</b>	<b>PROFUNDA</b>
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,714	1,411	1,409
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,580	1,329	1,331
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,580	1323	1,196
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante	1,0	1,268	1,010	1,026

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

#### 3.10. TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 13 do eixo barrável pela ombreira direita. A tomada d'água terá extensão de 84,0m e será constituída de uma galeria tubular de diâmetro de  $\phi=0,300\text{m}$  em Aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 362,50m. O corpo do tubo será envolto em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de  $0,040\text{m}^3/\text{s}$  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.

A Barragem será operada entre os níveis de cota 374,0m e 365,0m, onde os volumes são de 4,4hm<sup>3</sup> que corresponde a 100% de capacidade e 0,29hm<sup>3</sup> que corresponde a 6,5% da capacidade.

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.

### 3.11. SANGRADOURO

O sangradouro da Barragem João Guerra foi projetado com base nas informações dos estudos hidrológicos, dos estudos geotécnicos e do levantamento topográfico.

O sangradouro será implantado numa sela existente pelo lado esquerdo do rio Treme (também conhecido localmente como rio São Joaquim) afastado da estaca zero cerca de 857,0m.

No local dessa sela foi realizado um levantamento através da implantação de um eixo longitudinal locado e estaqueado em campo com duas curvas circulares, indo da estaca 0+0 até a 48+14,00m, ou seja, com 974,00m. Em cada estaca desse eixo foi feita uma seção transversal com 150,0 para cada lado. O eixo transversal que define as regiões de montante e jusante foi lançado, também, em campo de forma tal que a estaca 7+10 do eixo transversal é igual à estaca 21+4,0 do eixo longitudinal.

Os elementos das curvas de concordância do eixo longitudinal são mostradas abaixo:



CURVA 1		CURVA 2	
PC	16+16,10m	PC	23+10,69
PT	19+8,52m	PT	25+1,37
AC	41°48'00"	AC	27°30'00"
R	71,85m	R	63,93m
T	27,44m	T	15,64m
D	52,42m	D	30,68m

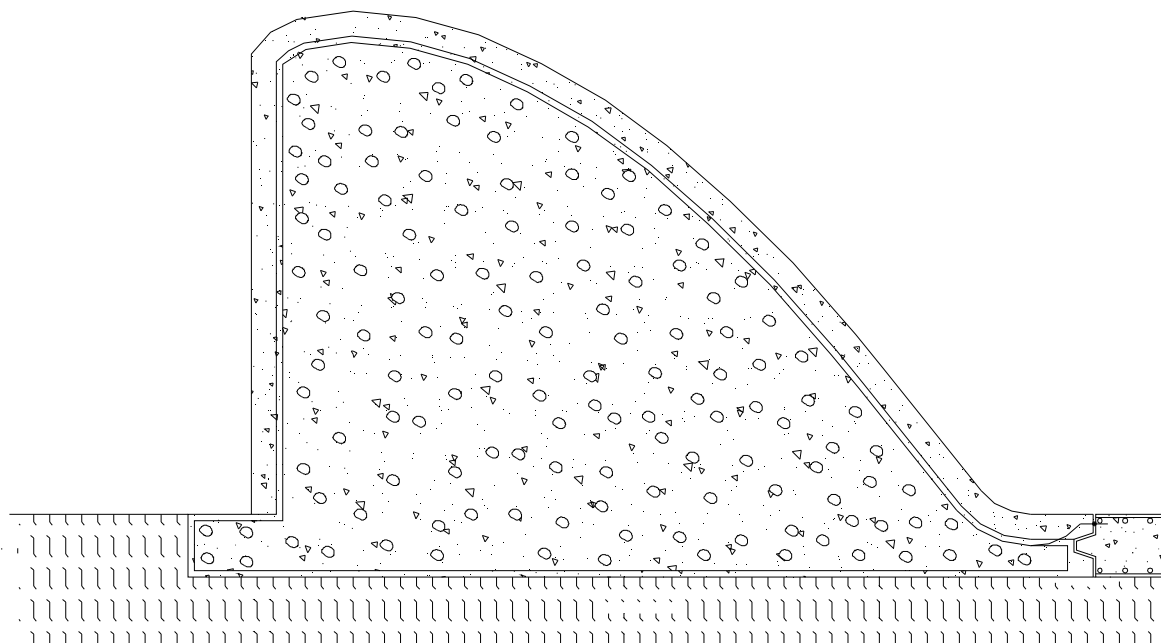
Nessa faixa levantada com cerca de 26,0ha foi desenvolvido o projeto do sangradouro. Dos estudos hidrológicos verificou-se que a largura do sangradouro deverá ter 100,00m. Por esta razão e levando em conta os estudos geotécnicos, que indicaram que o topo rochoso está variando entre as cotas 370,00 e 374,00m, projetou-se um canal escavado na cota 370,00m com 100,00m de largura com a execução de um muro creager com crista da ogiva na 374,00m com acumulação de 4,40hm<sup>3</sup>. Projetou-se também uma bacia de dissipação com 26,0m de extensão para que o ressalto hidráulico ocorra dentro da área protegida. A bacia terá uma espessura de 0,50m e será fixada no maciço rochoso por chumbadores passivo de Aço CA-50 de  $\phi=25\text{mm}$  que serão ancorados por 5,0m.

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 na cota 369,00.

As estruturas do sangradouro 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 371m, prossegue-se para jusante nessa cota por 2,0m. Em seguida sobe em talude 1:2,5 (V:H) até atingir a cota 378,0m. Nessa cota prossegue-se por 10,0m. Em seguida entra em talude 1:2 (V:H) até atingir a cota 375,0m. Nessa cota ele prossegue por 23,0m.

O perfil do muro creager foi calculado pelo procedimento recomendado pelo “Bureau of Reclamation os Small Dams”. A crista da ogiva ficará na cota 374,0m, conforme a figura abaixo:



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

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

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

Onde:

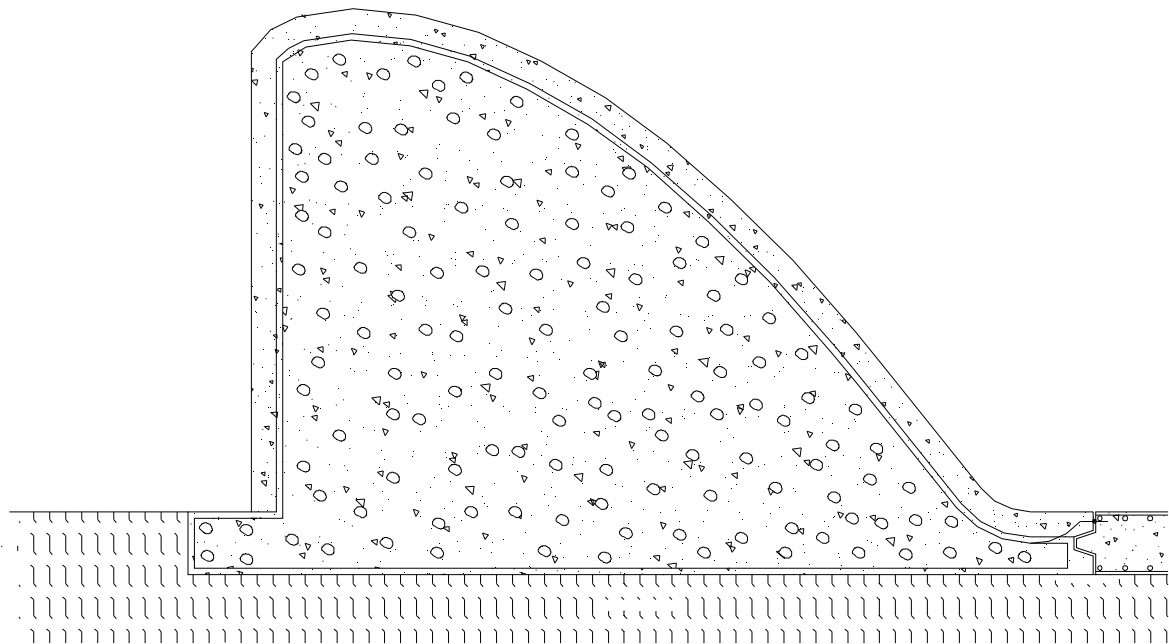
$H_0$  = Energia total acima da ogiva, incluindo a carga cinética;

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

c) 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.

### 3.11.1. Perfil Creager



Vazão de Projeto (Cheia Milenar)

$$Q = 1021 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$L = 100,0 \text{ m}$$

$$q = 10,21 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{m}$$

$$H_0 = h_b + h_a$$

$$q = CH_0^{3/2}$$

$$V_a = \frac{q}{P + h_b}$$

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

Adotando  $h_b = 2,90$  (Estudos Hidrológicos)

Tem-se:

$$h_a = \frac{10,21^2}{2 \times 9,81 \times (4 + 2,90)^2} = 0,11m$$

Equação do Creager

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

$$\frac{h_a}{H_0} = \frac{0,11}{2,90 + 0,11} = 0,03$$

Dos ábacos, tem-se:

$$K = 0,505 \text{ e } n = 1,857$$

Substituindo na equação, obtem-se:

$$\frac{y}{3,01} = -0,505 \cdot \left( \frac{x}{3,01} \right)^{1,857}$$

$$y = -0,196 \cdot X^{1,857}$$

A derivada da equação é:

$$\frac{d_y}{d_x} = -0,363 \cdot X^{0,857}$$

Fazendo  $\frac{d_y}{d_x} = -1,25$ , obtem-se a abscissa do ponto de tangência  $X_T$ .

$$-0,363 \cdot X^{0,857} = -1,25$$

$$X_T = 3,443^{1,166} = 4,22$$

$$Y_T = -2,840$$

Os elementos do perfil creager são mostrados no quadro abaixo:

<b>X</b>	<b>Y</b>
0,00	0,00
0,50	-0,05
1,00	-0,19
1,50	-0,42
2,01	-0,71
2,50	-1,07
3,00	-1,51
3,50	-2,00
4,00	-2,57
4,22	-2,84

Da relação  $\frac{h_a}{H_0} = 0,03$  ., obtem-se:

$$\frac{X_c}{H_0} = 0,268 \Rightarrow X_c = 0,81m$$

$$\frac{Y_c}{H_0} = 0,114 \Rightarrow Y_c = 0,34m$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,518 \Rightarrow R_1 = 1,56m$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,218 \Rightarrow R_2 = 0,65m$$

### 3.11.2. Bacia de Dissipação

$$E_1 = P + H_0 = 7,01$$

$$E_2 = y + \frac{V^2}{2g}$$

Fazendo  $E_1 = E_2$  e sabendo-se que  $V = \frac{q}{y}$ , obtem-se:

$$7,01 = y + \frac{5,31}{y^2}$$

Resolvendo por iteração, obtem-se:

$$y = 0,09 \text{ (Lâmina na entrada da bacia)}$$

A velocidade na entrada da bacia será:

$$V = \frac{10,21}{0,93} = 10,97 \text{ m / s}$$

O número de Froude na entrada da bacia será:

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \times y}} = \frac{10,97}{\sqrt{9,81 \times 0,93}} = 3,63$$

A altura conjugada será:

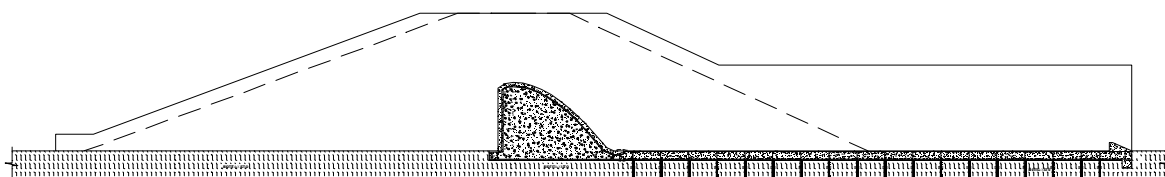
$$y_2 = \frac{y_1}{2} \times \left( \sqrt{1 + 8F_R^2} - 1 \right)$$

$$y_2 = 4,33$$

A dimensão da bacia de dissipação será:

$$L = y_2 \times 6 = 4,33 \times 6 = 25,98 \text{ m}$$

Será adotada uma bacia com:  $L_c = 26,00 \text{ m}$ .



### 3.12. APRESENTAÇÃO DO PROJETO

No Volume II são apresentados os desenhos do Projeto da Barragem João Guerra, discriminados no Quadro N°3.10 a seguir:

<b>QUADRO N°3.10: RELAÇÃO DE DESENHOS</b>	
<b>DESENHO N°</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
01/01	ESTRADAS DE ACESSO E CAMINHOS DE SERVIÇO – SEÇÕES TIPO E BUEIROS
01/28	BACIA HIDRÁULICA
02/28	PLANTA TOPOGRÁFICA DO EIXO BARRÁVEL E VERTEDOIRO
03/28	PERFIL LONGITUDINAL PELO EIXO DA BARRAGEM E VERTEDOIRO
04/28	PLANTA DE LOCAÇÃO DOS FUROS DE SONDAÇÃO – EIXO BARRÁVEL
05/28	PLANTA DE LOCAÇÃO DOS FUROS DE SONDAÇÃO – EIXO VERTEDOIRO
06/28	PERFIS GEOLÓGICO DO EIXO BARRÁVEL E DO EIXO VERTEDOIRO
07/28	PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS
08/28	ARRANJO GERAL DA BARRAGEM VERTEDOIRO E TOMADA D'ÁGUA
09/28	PERFIL LONGITUDINAL PELO EIXO DA BARRAGEM E VERTEDOIRO
10/28	SEÇÃO MÁXIMA E DETALHES
11/28	SEÇÕES TIPO DA BARRAGEM
12/28	SEÇÕES TRANSVERSAIS (01/03) – TRECHO (EST.04 A EST. 12)
13/28	SEÇÕES TRANSVERSAIS (02/03) – TRECHO (EST. 13 A EST. 19)
14/28	SEÇÕES TRANSVERSAIS (03/03) – TRECHO (EST. 20 A EST. 26)
15/28	SEÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA E DETALHES
16/28	TOMADA D'ÁGUA – CAIXA DE MONTANTE E JUSANTE
17/28	TOMADA D'ÁGUA – ARMADURA DA CAIXA DE JUSANTE
18/28	TOMADA D'ÁGUA – ARMADURA DA GALERIA E DA CAIXA DE MONTANTE
19/28	PLANTA PERFIL E SEÇÕES TIPO DE ESCAVAÇÃO DA TOMADA D'ÁGUA
20/28	PLANTA PERFIL E SEÇÕES TIPO DE ESCAVAÇÃO DO VERTEDOIRO
21/28	SEÇÕES TRANSVERSAIS DO VERTEDOIRO (01/03)
22/28	SEÇÕES TRANSVERSAIS DO VERTEDOIRO (02/03)
23/28	SEÇÕES TRANSVERSAIS DO VERTEDOIRO (03/03)
24/28	ARRANJO GERAL DO VERTEDOIRO E DETALHES
25/28	SANGRADOIRO – MUROS E DETALHES
26/28	DRENAGEM SUPERFICIAL – PLANTA (01/02)
27/28	DRENAGEM SUPERFICIAL – DETALHES (02/02)
28/28	CORTINA DE INJEÇÃO DE CIMENTO

## **4. EQUIPAMENTO MÍNIMO**

---



#### 4 – EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do Cronograma de implantação prevista no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento indicado nos Quadros N°4.1 e 4.2:

<b>Quadro N°4.1: Relação dos Equipamentos do Laboratório</b>		
<b>Item</b>	<b>Especificação</b>	<b>Quant. Mínima</b>
1	Conjuntos para determinação da densidade de campo pelo método do frasco de areia	3
2	Cilindro biselado para determinação de densidade nos aterros argilosos	6
3	Conjuntos completos para análise granulométrica por peneiramento, por via seca e úmida	2
4	Conjuntos completos para determinação dos Limites de Atterberg	2
5	Conjuntos completos para ensaios de compactação (Proctor Normal)	3
6	Conjuntos completos para ensaios de sedimentação e massa específica real dos solos	10
7	Equipamentos completos (estufas, cápsulas, balanças, bandejas, provetas, etc.), capazes de atender à solicitação do laboratório, para solos, ligantes e misturados	1
8	Conjuntos completos para ensaios de finura e de pega de cimento	1
9	Moldes para corpos de prova cilíndrico de concreto	50
10	Prensa para rompimento de corpos de prova de argamassa de concreto, com capacidade de 100,0 ton	1
11	Acessórios necessários ao preparo de traços de concreto e de argamassa, moldagem e cura de corpos de prova, etc.	1
12	Conjunto completo para ensaio de abatimento em concreto (“Slump test”)	3
13	Conjunto completo para ensaio colorimétrico em areias	2
14	Frasco de Chapman	2
15	Equipamentos complementares necessários ao funcionamento do laboratório nos setores de agregados, cimento e concreto (estufas, balanças, cápsulas, bandejas, etc.)	1

<b>Quadro N°4.2: Equipamento Mínimo</b>		
<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quant. Mínima</b>
1	Trator de esteira com potência igual ou superior a 270HP	2
2	Trator de esteira com potência igual ou superior a 140HP	2
3	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	2
4	Carregadeira de pneus com potência igual ou superior a 170HP	4

**Quadro N°4.2: Equipamento Mínimo**

<b>Item</b>	<b>Descrição</b>	<b>Quant. Mínima</b>
5	Motoniveladora com potência igual ou superior a 125HP	2
6	Grade de disco pesada	2
7	Caminhão pipa com capacidade de 8000l	5
8	Caminhão basculante com capacidade de 12m <sup>3</sup>	15
9	Rolo liso duplo Tandem autopropulsor do tipo CC 431 DYNAPAC ou similar	1
10	Rolo pé de carneiro tipo CA-25 DYNAPAC	2
11	Retro escavadeira sobre esteira com capacidade de 1,8m <sup>3</sup>	1
12	Conjunto de britagem com capacidade de 50m <sup>3</sup> /h	1
13	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	2
14	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm	2
15	Compressor de ar portátil com capacidade superior a 250pcm	2
16	Sapo mecânico	4
17	Martelete de 24kg	5

## **5. RESUMO DOS INVESTIMENTOS**

---

## 5. RESUMO DOS INVESTIMENTOS

A Barragem João Guerra envolverá a aplicação de R\$ 16.344.162,38 (dezesseis milhões trezentos e quarenta e quatro mil e cento e sessenta e dois reais trinta e oito centavos), conforme mostram os custos a seguir:

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	TOTAIS R\$
1	INSTALAÇÃO DE CANTEIRO DE OBRAS	72.718,63
2	SERVIÇOS PRELIMINARES	1.540.651,48
3	BARRAGEM PRINCIPAL	3.153.335,34
4	SANGRADOURO	11.213.934,44
5	TOMADA D'ÁGUA	195.796,64
6	TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES	167.725,85
<b>TOTAL GERAL</b>		<b>16.344.162,38</b>
(*) Tabela SEINFRA, Junho/2006		