

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 I
MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

FORTALEZA-CE
OUT/2006



ÍNDICE

ÍNDICE

	Páginas
ÍNDICE	1
1. INTRODUÇÃO	6
2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO	12
3. ESTUDOS GEOLÓGICOS	15
3.1. <i>Geologia Regional</i>	17
3.2. <i>Geologia Local</i>	21
3.3. <i>Levantamento Geológico de Superfície</i>	26
4. INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DO BARRAMENTO	32
4.1. <i>Sondagens a Percussão</i>	33
4.2. <i>Sondagens Mistas</i>	37
4.3. <i>Ensaio de Campo</i>	38
4.4. <i>Comentários</i>	39
5. INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DO SANGRADOURO	42
5.1. <i>Sondagens Realizadas</i>	43
5.2. <i>Comentários</i>	45
6. ESTUDOS DAS OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS	47
6.1 <i>Jazidas de Solos</i>	48
6.2. <i>Areal</i>	61
6.3. <i>Pedreira</i>	62
6.4. <i>Comentários</i>	62
7. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS E TOPOGRÁFICOS	65
7.1. <i>Transporte de Coordenadas</i>	68
7.2. <i>Transporte de Cota</i>	68

7.3. Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro.....	69
7.3.1. Locação dos Eixos e Implantação de Marcos	69
7.3.2. Nivelamento.....	70
7.3.3. Levantamento de Seções Transversais	70
7.4. Levantamento do Canal de Restituição.....	72
7.4.1. Locação	72
7.4.2. Nivelamento e Seções Transversais	72
7.5. Levantamento da Bacia Hidráulica.....	72
7.5.1. Trabalhos Executados.....	73
7.5.2. Cobertura Aerofotogramétrica	73
7.5.3. Apoio Básico	75
7.5.4. Aerotriangulação.....	76
7.5.5. Restituição Fotogramétrica	77
7.6. Levantamento de Jazidas	77
7.6.1 Jazidas	78
7.6.2. Areal.....	78
7.6.3. Pedreira.....	79
8. ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	80
8.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	83
8.1.1 - Índices de Forma da Bacia.....	83
8.2 – ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS	88
8.2.1 – Principais Parâmetros	88
8.2.2 – Balanço Hídrico	94
8.2.3 – Classificação do Clima	96
8.2.3 – Sinopse Climatológica.....	97
8.3 – ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS.....	97
8.3.1 – Dados Utilizados	97
8.3.2 – Caracterização do Regime Pluviométrico.....	97
8.4 – ESTUDO DE CHEIAS.....	103
8.4.1 – Introdução.....	103
8.4.2 – Metodologia.....	104
8.5 – CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO	111
8.5.1 – Introdução.....	111
8.5.2 – Metodologia.....	111
8.5.3 – Resultados.....	114
8.6 – DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO	117

8.6.1 – Propagação da Cheia no Reservatório	117
8.6.2 – Resultados.....	118
8.7 – ESTUDOS ADICIONAIS	120
8.7.1 – Probabilidades de Enchimento e Esvaziamento - Equilíbrio.....	120
8.7.2 – Assoreamento do Açude João Guerra.....	121
9. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS	124
10. PROJETO	129
10.1. Caracterização da Fundação da Barragem e Sangradouro	130
10.1.1. Fundação da Barragem	130
10.1.2. Fundação do Sangradouro.....	132
10.2. Rebaixamento do Lençol Freático.....	132
10.3. Geometria da Trincheira de Fundação.....	132
10.4. Local de Bota-Fora.....	133
10.5. Tratamento das Fundações	133
10.6. Materiais de Construção.....	134
10.7. Características do Maciço da Barragem.....	134
10.8. Vazões de Percolação Pelo Maciço e Fundação.....	140
10.9. Análise de Estabilidade.....	144
10.9.1. Método Bishop Simplificado	146
10.9.2. Programa Slope/W	147
10.9.3. Método de Análise	148
10.9.4. Geometria e Estratigrafia.....	148
10.9.5. Superfície de Escorregamento.....	148
10.9.6. Pressão Neutra	148
10.9.7. Propriedade do Solo	149
10.9.8. Definição do Problema	151
10.9.9. Resolução do Problema	151
10.9.10. Apresentação dos Resultados.....	151
10.9.11. Formulário	152
10.9.12. Resultados Obtidos.....	153
10.10. Tomada D'Água	154
10.11. Sangradouro.....	155
10.11.1. Perfil Creager	158
10.11.2. Bacia de Dissipação.....	160

10.12. Apresentação do Projeto..... 162

11. EQUIPAMENTO MÍNIMO 163

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 – Estudos Geológicos

4 – Investigação Geotécnica do Barramento

5 – Investigação Geotécnica do Sangradouro

6 – Estudos de Ocorrências de Materiais

7 – Estudos Cartográficos e Topográficos

8 – Estudos Hidrológicos

9 – Conclusões Decorrentes dos Estudos Básicos

10 – Projeto

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 km²
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 ³
Volume Afluente Médio Anual:.....	1,19 hm ³ /ano
Vazão Regularizada (90%):.....	40 l/s
Vazão Afluente Máxima de Projeto (TR=1.000 anos):.....	1.091 m ³ /s
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):.....	1.021 m ³ /s
Vazão Afluente Máxima de Projeto (TR=10.000 anos):.....	1.416 m ³ /s
Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=10.000 anos):.....	1.330 m ³ /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

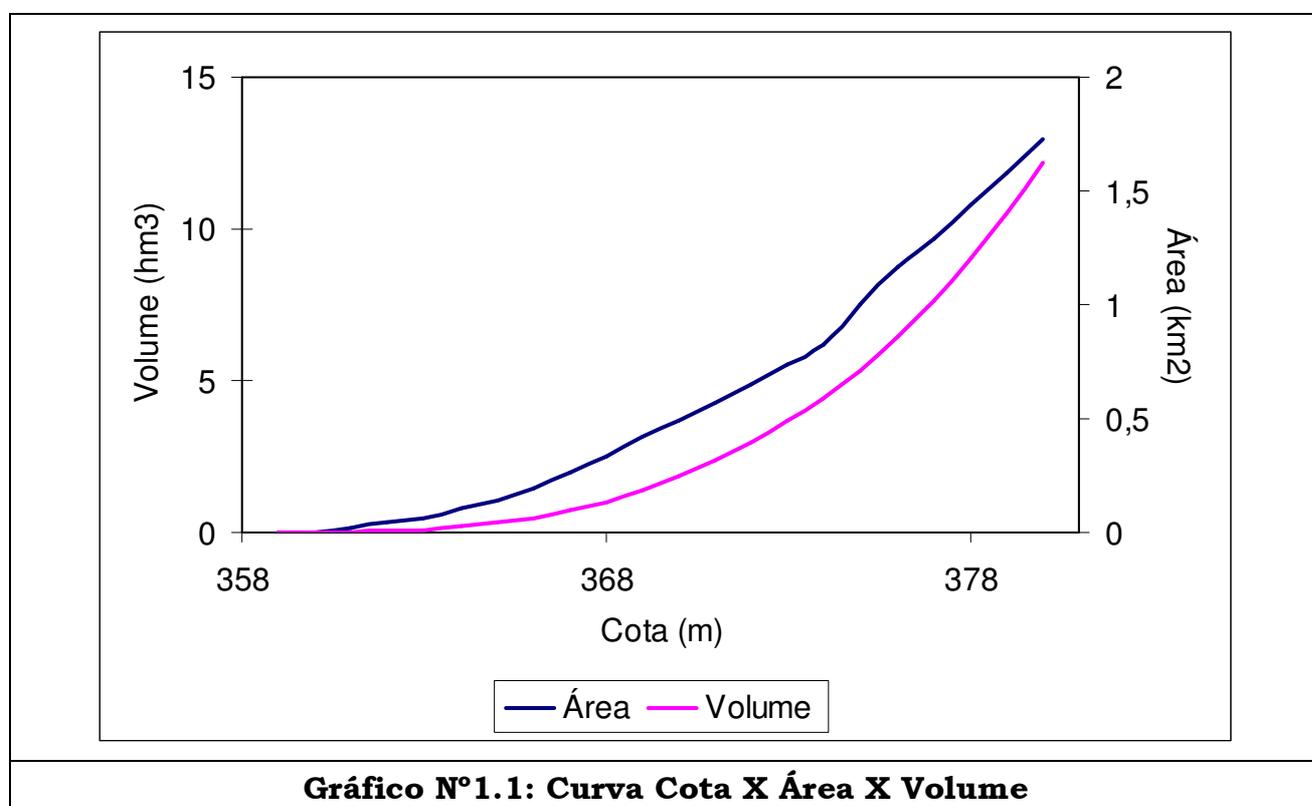
Extensão:.....26,00 m

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.

Tabela N° 1.1: Curva Cota x Área x Volume			
Cota	Área (m²)	Volume (m³)	Volume Acumulado (m³)
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

Tabela Nº 1.1: Curva Cota x Área x Volume			
Cota	Área (m²)	Volume (m³)	Volume Acumulado (m³)
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

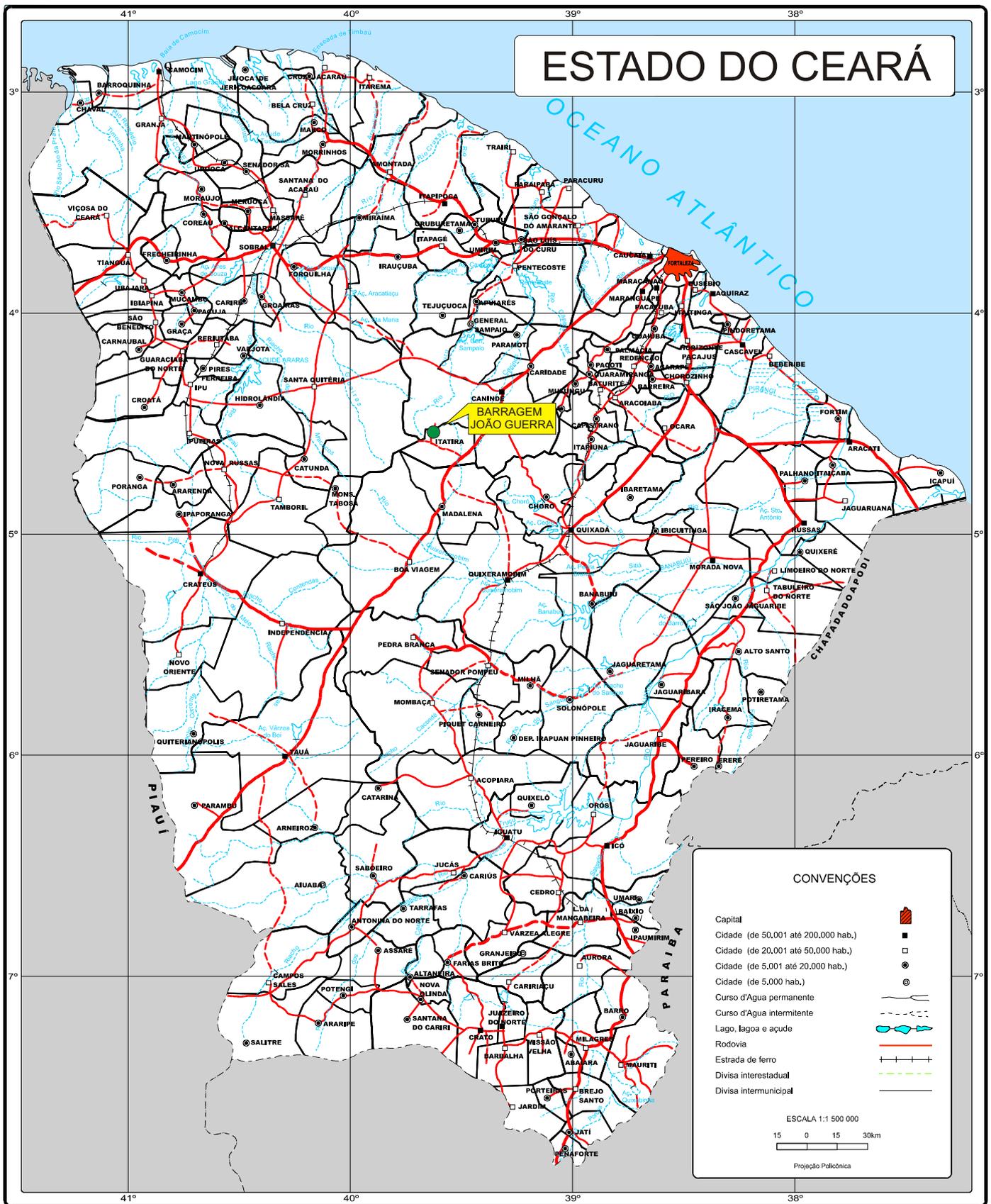


FIGURA - 2.1
 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BARRAGEM

3. ESTUDOS GEOLÓGICOS

3. ESTUDOS GEOLÓGICOS

Os Estudos Geológicos do Sítio da Barragem João Guerra foram objeto do Contrato N°002/PROGERIRH/PILOTO/SRH/2001 e foram apresentados no VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS, TOMO 4 – GEOLOGIA E GEOTÉCNIA. No trabalho desenvolvido pela SLA está previsto o aproveitamento desses estudos e complementados ou não se necessário.

Neste capítulo são reapresentados os Estudos Geológicos constante do TOMO 4 – GEOLOGIA E GEOTÉCNIA.

A bacia hidrográfica do Açude João Guerra está situada na microregião geográfica da Bacia do Banabuiu no Estado do Ceará, numa área em que predominam as rochas do embasamento cristalino.

Os estudos geológicos foram realizados visando fornecer dados litológicos e estruturais relacionados às feições geológicas, tendo-se adotado as seguintes etapas de trabalho:

- Levantamento bibliográfico dos principais trabalhos geológicos desenvolvidos na região;
- Interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000;
- Mapeamento geológico do eixo barrável e do eixo do sangradouro através de caminhamentos ao longo dos eixos topográficos locados e nas seções transversais a cada 20m, abrangendo uma faixa de 300m, sendo 150m para montante e 150m para jusante;
- Mapeamento geológico da bacia hidráulica através de reconhecimento dos locais possíveis de acesso por veículo de passeio;
- Elaboração de mapa geológico do eixo da barragem em escala 1:1.000;
- Elaboração de mapa geológico do eixo do sangradouro em escala 1:1.000;

- Elaboração de mapa geológico da bacia hidráulica em escala 1:10.000.

Para orientação dos perfis de caminhamento e localização e indicação dos pontos básicos para o estudo em epígrafe, foram utilizados aparelhos de GPS de mão e bússola, tendo como base cartográfica as plantas topográficas previamente elaboradas.

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

A descrição da geologia regional para este trabalho teve como fonte de pesquisa o Mapa Geológico do Estado do Ceará, elaborado em 1983, pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em convênio com o Governo do Estado do Ceará, em escala 1:500.000 e o Projeto Fortaleza, executado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais através do convênio DNPM/CPRM, em 1981, tendo sido consideradas as terminologias adotadas pelo Projeto Fortaleza.

Os processos de esculturação do relevo, que culminam com o atual modelo da região, evoluíram principalmente em função das variações litológicas e estruturais, face aos diferentes ciclos geomorfológicos. Esse relevo está inserido em um pediplano de rochas Pré-Cambrianas que abrange uma vasta região, consistindo de um conjunto profundamente arrasado, cuja monotonia de formas suavemente onduladas é interrompida por forte rutura de declive com morros e serrotes residuais, formados por migmatitos e granitóides mais resistentes. A declividade dos talwegues é pequena, formando vales abertos, algumas vezes com extensas planícies de inundação, separados por divisores d'água baixos e abaulados. Os cursos d'água são lentos, com pequena capacidade de carga, embora possam ocorrer enchentes violentas durante os períodos de elevadas médias pluviométricas.

Foram mapeadas em escala regional seis unidade litoestratigáficas pertencentes ao Pré-Cambriano, diferenciadas e agrupadas com base nas características litológicas, portanto, indiferenciadas estratigraficamente, sem que seja estabelecida sua sucessão espacial e temporal, conforme descritas a seguir:

- **Complexo Caicó:** ocupa praticamente a totalidade da área. A unidade é definida litologicamente por uma sequência constituída de gnaisses variados, que inclui lentes de metarcósios, anfibolitos, quartzitos e calcários cristalinos subordinados, além de migmatitos com estruturas diversas, desde as mais foliadas, próprias dos gnaisses até as mais homogêneas, como a dos anatexitos. As fácies gnáissicas mais comuns são biotita-gnaisses e hornblenda-biotita-gnaisses, muitas vezes ricas em biotita e em alguns locais enriquecidas com moscovita. Na região de Itataia, próximo a Itatira, essa sequência é composta por uma unidade basal migmatítica, seguida de um delgado e descontínuo pacote quartzítico, sotoposto a gnaisses e calcários cristalinos (mármore). Ocorrem com frequência na região, migmatitos de estruturas dobradas, gnaisses migmatizados, ricos em granada e corpos pegmatóides subconcordantes. Desenvolve-se próximo aos falhamentos uma intensa feldspatização, com migmatitos de estrutura oftálmica. Os quartzitos são sobrejacentes aos migmatitos e formam um pacote pouco espesso, de algumas dezenas de metros, aflorando em alguns locais, formando as cristas da Serra do Céu e Mata Fome. Os anfibolitos são rochas esverdeadas, formando pequenas lentes quando encaixadas nos migmatitos e lentes maiores quando encaixadas em gnaisses. A sequência carbonática compreende um conjunto de litologias congênicas que gradam desde mármore puros, de textura sacaroidal até termos mais impuros, ricos em piroxênio, anfibólio e flogopita. Contrastando com o padrão linear que domina na área, ocorre a sudoeste de Itatira uma feição morfotectônica peculiar, de formato semi-circular, formando um sistema radial de fraturamento associado a falhas indiscriminadas de pequeno rejeito. Esta estrutura é margeada por um cordão de calcário cristalino (mármore). Na parte central desta estrutura dômica afloram rochas gnáissicas injetadas por corpos filoneanos de composição granítica, com textura pegmatítica e aplítica. Alguns autores defendem a hipótese de que esta estrutura foi gerada a partir de um corpo plutônico não aflorante de composição granítica, representado na área apenas por apófise (digitação de uma massa

intrusiva penetrando na rocha encaixante), diques e cúpulas (alguns já epissienitizados), cortando as rochas gnáissicas carbonáticas da sequência metassedimentar.

- **Rochas Plutônicas Granulares:** essa unidade inclui as rochas com características texturais, petrográficas e estruturais semelhantes às rochas formadas na profundidade. São divididas em granitóides e gabróides. No grupo dos granitóides estão incluídos os granitos, que mostram textura equigranular, ocasionalmente porfiróide. No grupo dos gabróides, a rocha apresenta uma morfologia plana e uma forte orientação textural, devido a sua intimidade com litologias gnáissicas. São de granulometria média a grossa, textura granular orientada, podendo eventualmente apresentar alguma litologia da família do gabro. Seus contatos com as rochas circunjacentes são transicionais.

- **Complexo Tamboril/Santa Quitéria:** essa unidade compreende litologias como gnaisses migmatíticos (com estruturas flebítica, estromática e oftálmica), migmatitos (com estrutura “schlieren”, nebulitos e anatexitos, dominantes) e granitóides variados. Os contatos com as rochas do Complexo Caicó podem ser transicionais, tectônicos ou eventualmente bruscos. Nos contatos transicionais ocorre quase sempre uma faixa marginal onde se observa a mudança de rochas amplamente foliadas para aquelas mais migmatizadas, características da unidade ora enfocada. A fácies dominante dessa unidade corresponde aos migmatitos homogeneizados, que são leucocráticos, de cor cinza a rósea, granulação fina a grossa, e constituídos essencialmente de quartzo, feldspato (plagioclásio e microclina), biotita, moscovita, hornblenda e granada subordinada.

- **Complexo Independência:** Essa unidade é formada por uma associação litológica onde estão incluídas sequências de biotita-gnaisses, gnaisses leucocráticos, hornblenda-biotita-gnaisses granadíferos, além de quartzitos e gnaisses migmatíticos. Na ocorrência próxima à localidade de Águas Belas, ao sul de Lagoa do Mato e Itatira,

a unidade é constituída de paragnaisses com intercalações de lentes anfibolíticas e de calcários cristalinos, mostrando foliação orientada segundo o “trend” da estruturação regional, apresentando uma morfologia suavemente ondulada.

- **Grupo Ceará:** esta unidade a sudoeste de Itatira, próximo à localidade de Águas Belas. É constituída de uma sequência ectinítica, começando com um quartzito basal, geralmente formando cristas alongadas, sobrepondo-se xistos granadíferos e gnaisses. No topo da sequência, geralmente ocupando os eixos das sinclinais, ocorre horizonte carbonático.
- **Diques Ácidos:** esta unidade não mapeável em escala regional, reúne rochas filoneanas como granitos, pegmatitos, veios de quartzo e sílica cripto-cristalina. Estes corpos tabulares ocorrem geralmente preenchendo fraturas, concordantes ou não com a estruturação regional.

Constituindo as unidade do Cenozóico estão presentes os diques básicos pós-cretáceos e as aluviões, do Quaternário:

- **Diques Básicos:** são representados por diques de diabásio, com direção aproximada E-W.
- **Aluviões:** representam os sedimentos arenosos inconsolidados depositados no leito e nas margens dos principais rios e riachos.

Ocorre ainda na região, no município de Santa Quitéria, mas já bem próximo de Lagoa do Mato, um elemento de destaque, que é a “Jazida Fósforo-Uranífera de Itataia”, que está inserida no contexto do Complexo Caicó, e compõe-se de um espesso pacote constituído de silimanita-granada-biotita-gnaisses, com ou sem anfibólio e calcários cristalinos (mármore). Este pacote apresenta-se dobrado e falhado de maneira complexa, e exhibe inúmeros corpos filoneanos já bastante transformados por fenômenos metassomáticos. A jazida se caracteriza pela originalidade do fenômeno mineralizante que a constitui, com associação de

urânio e fósforo em teores bastante elevados. O colofanito é a rocha hospedeira do urânio; trata-se de uma rocha de coloração acastanhada, constituída essencialmente por colofana (80%) e preenchendo fraturas, fissuras e cavidades de dissolução e/ou substituindo o feldspato das rochas hospedeiras. Ocorre principalmente sob a forma de “stockwork”, preferencialmente ligada à sequência carbonática.

No que tange à condição estrutural pode-se afirmar que a região possui uma grande complexidade estrutural, abrangendo a faixa de dobramentos Caririanos de idade Pré-Cambriana. Esta complexidade tem causado entre os estudiosos, várias divergências de ordem conceituais, evolutivas e terminológicas. Regionalmente observa-se um embasamento metassomático e uma faixa linearmente dobrada. O embasamento metassomático é representado por um complexo antigo, de domínio ensialico, o qual foi submetido a constantes e prolongados processos de migmatização e granitização, constituindo a infraestrutura da região dobrada. As falhas transcorrentes do Rio Groaíras e Sabonete-Inharé (sinistras ou levógiras) e o empurrão da Serra do Céu, constituem elementos tectônicos importantes. As duas primeiras formam um par cisalhante, fazendo um ângulo entre si. A falha do Rio Groaíras possui direção segundo NW-SE, com rejeito à esquerda e se estende por mais de 150Km. Na Fig. nº 3.1 tem-se uma representação esquemática do sistema de falhamentos que ocorre na região.

Na Figura nº 3.2 é mostrada a geologia regional da área compreendida entre as seguintes coordenadas geográficas: Meridianos – 39° 30’ a 40° 00’ de longitude oeste e Paralelos 4° 00’ a 5° 00’ de latitude sul, compilada do Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983.

3.2. GEOLOGIA LOCAL

A área estudada fica no município de Itaitira, próximo ao Distrito de Lagoa do Mato, no Estado do Ceará.

A geologia local representa basicamente a sequência litológica que forma o complexo de rochas cristalinas pré-cambrianas classificadas principalmente no

Complexo Caicó, muitas vezes recortada por veios de quartzo e rochas pegmatíticas que formam os diques ácidos. Há uma predominância das rochas gnaissicas, que apresentam foliação bem desenvolvida e muitas mostram estruturas migmatizadas. Na poção leste da área de ocupação da bacia hidráulica há ocorrências predominantes de rochas graníticas, caracterizando a presença de rochas plutônicas granulares. Nessa área de ocorrência granítica se forma uma elevação com cota superior a 450m, apresentando na face virada para SE uma escarpa vertical que pode sugerir um plano de falha (Foto N° 01).

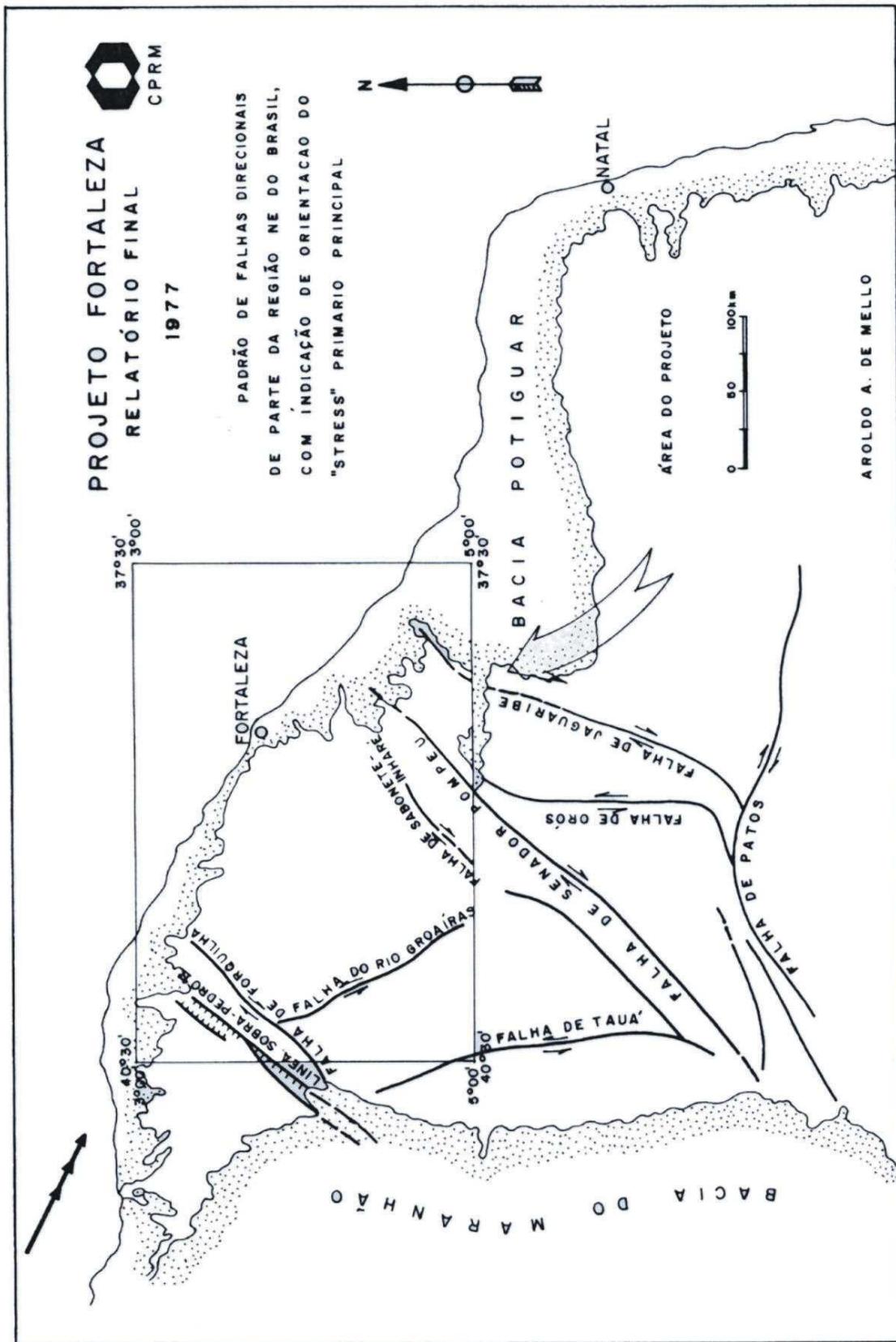


FIGURA Nº 3.1 – ESQUEMA DO SISTEMA DE FALHAMENTO REGIONAL

GEOLOGIA REGIONAL

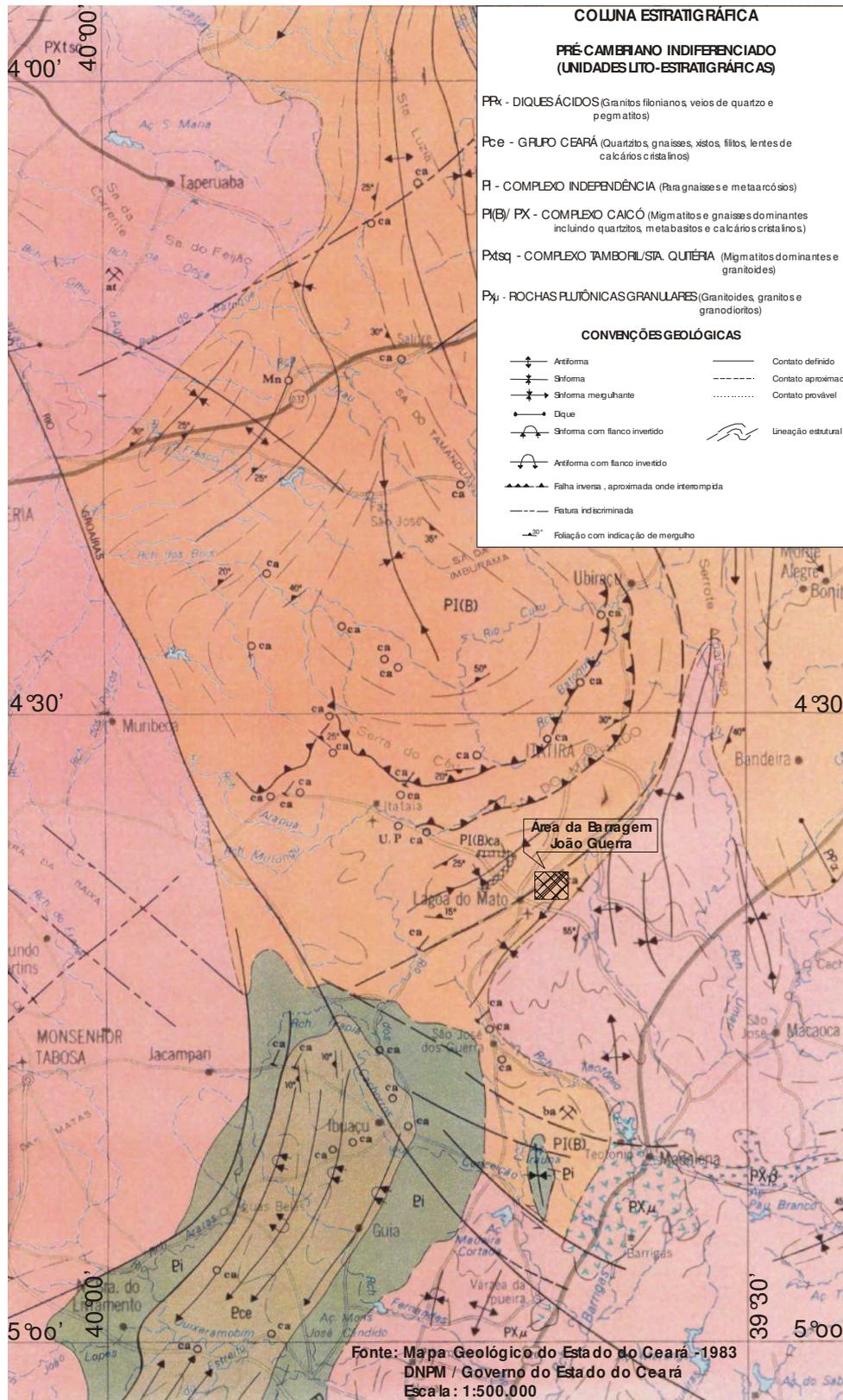


FIGURA Nº 3.2 – GEOLOGIA REGIONAL

Pelo lado oeste da área de ocupação da bacia hidráulica foram visualizadas inúmeras ocorrências de biotita-xisto, formando na maioria das vezes afloramentos a nível superficial de solo, ocorrendo de forma alternada com gnaisses e muitas vezes associadas a quartzito, granito, anfibolito e rochas milonitizadas.

A presença do calcário cristalino foi percebida em duas ocorrências situadas à montante, próximas do eixo da barragem. A rocha apresenta cor clara, com cristais brilhosos bem definidos, maciça, com aspecto dolomítico. Os calcários e dolomitos são rochas carbonáticas compostas por mais de 50% de minerais carbonáticos (calcita ou dolomita, respectivamente), podendo entretanto possuir 80% a 100% desses minerais. Um fator tranquilizador quanto à preocupação com estanqueidade é que o calcário cristalino ou dolomítico é relativamente mais duro e insolúvel do que os calcários.

No eixo da barragem, em toda a faixa que vai desde a margem direita do rio até a ombreira direita, há uma predominância das rochas gnáissicas migmatíticas, recortadas em uma faixa intermediária por uma extensa mancha de solo de alteração de anfibolito (Foto N° 01), contendo de forma dispersa alguns pontos aflorantes. No lado esquerdo da barragem, com relação ao leito do rio, ocorrem de forma dominante biotita-xistos e quartzitos. O local do sangradouro situa-se em uma área onde há um domínio total dos gnaisses e migmatitos.

Os depósitos aluvionares ocorrem principalmente nos leitos e margens dos rios Treme (também conhecido localmente como rio São Joaquim) e Santa Rosa, e são formados por areias de cor clara, e granulometria média a grossa nos leitos, e siltes areno-argilosos nos terraços que se formam nas margens, sendo que no cruzamento com o eixo da barragem ocorrem com uma largura bastante modesta.

O padrão de drenagem segue o comportamento geral visto de forma regional, ou seja, mostrando o modelo dendrítico que é condicionado pela estruturação das rochas cristalinas pré-cambrianas, em que os rios e riachos seguem os sistemas ortogonais de fraturamentos das rochas.

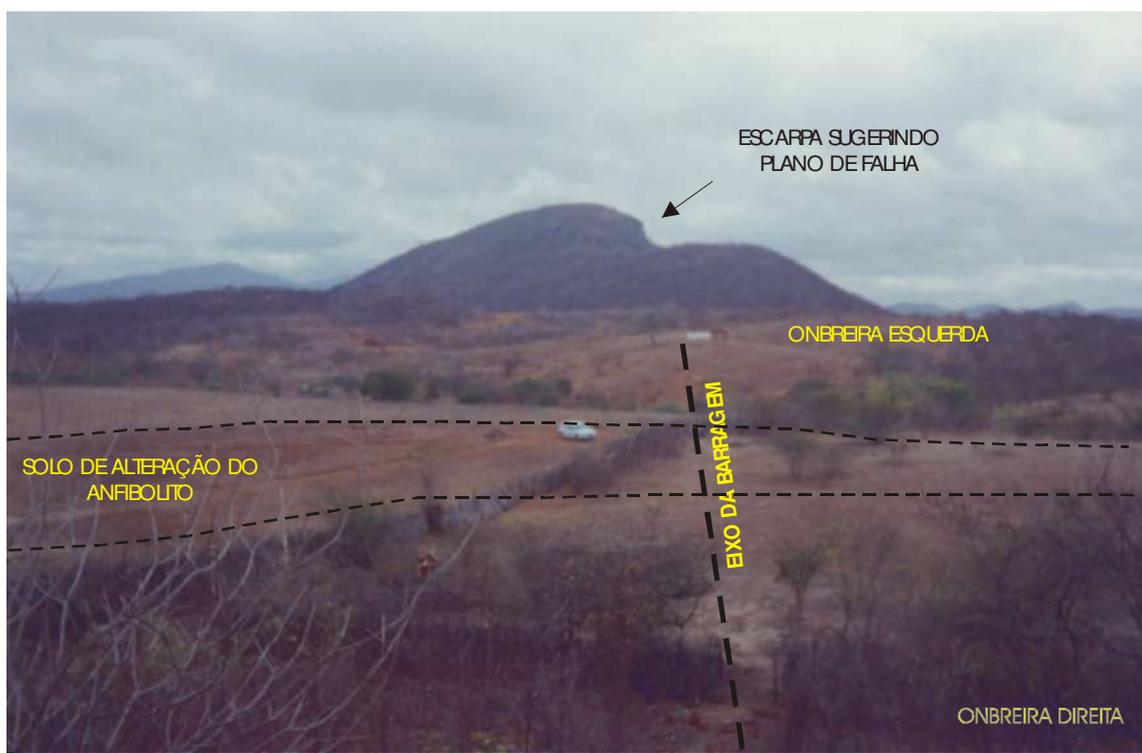


Foto N° 01 – Eixo da barragem visto da ombreira direita para esquerda, mostrando os contatos com a mancha de solo alterado do anfibólito. No plano superior vê-se a elevação granítica escarpada, sugerindo um plano de falha.

No cômputo geral a foliação é orientada predominantemente segundo a direção NW-SE., com mergulho sub-horizontal (em torno de 30°) para NE, ocorrendo localmente algumas variações.

3.3. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE

O levantamento geológico de superfície realizado ao longo dos eixos topográficos locados para a barragem e o sangradouro, e ao longo da área que será ocupada pela bacia hidráulica teve como principal objetivo a identificação dos tipos litológicos ocorrentes, visando a definição dos traçados dos contatos litológicos e não necessariamente geológicos, já que via de regra, no âmbito regional, considerando em caráter mais abrangente, todas essas litologias pertencem a uma associação metamórfica que compõe o complexo cristalino de idade Pré-Cambriana.

Ao longo do eixo foram identificadas as seguintes litologias:

- Da estaca **00 a 3 + 10,00m**: nesta área, estendendo-se para montante e para jusante, há uma grande alternância de afloramentos de quartzito e biotita-gnaiss, com predominância do quartzito, que em alguns locais também se confunde com a estrutura xistosa. Em alguns desses afloramentos foram visualizados, de forma impregnada, concentrações de um mineral muito resistente, difícil de ser quebrado com martelo, podendo ser cianita ou até mesmo silimanita. O mineral se apresenta em pequenos prismas alongados, de cor esverdeada a azulada, translúcidos, dispersos aleatoriamente na rocha, chegando a formar concentrações de cristais isolados ou agregados. A presença da cianita juntamente com preenchimentos pelíticos, evidenciados na rocha, indica um metamorfismo de média a alta pressão. A cianita é um mineral que tem na sua composição silicato de alumínio e geralmente ocorre como um mineral acessório no gnaiss e no mica-xisto, podendo aparecer também associado a veios de quartzo, associado muitas vezes com a granada. As medidas de atitude de foliação obtidas indicam um direcionamento preferencial segundo NW-SE, com mergulhos suaves para NE. Essa direção se faz praticamente perpendicular ao eixo da barragem, concordantemente com a direção de percolação.

- Da estaca **3 + 10,00m a 9+10,00m**: As ocorrências de biotita-xisto passam a predominar nessa área, principalmente para jusante e estendendo-se para montante numa faixa paralela ao eixo da barragem de 40m de largura, fazendo contato com o biotita-gnaiss. A área situada à jusante é escassa em afloramentos, apresentando uma cobertura de solo argilo-arenoso resultante da alteração da rocha, formando um relevo suavemente ondulado, recortado em alguns locais por veios de pegmatito com muito feldspato, intensamente alterado e fragmentado, preenchendo fraturas lineares discordantemente com a foliação. Nos pontos onde aflora, a rocha apresenta-se muito alterada, com planos de xistosidade bem definidos, granulação fina a grossa, muito micácea, de cor cinza, mesocrática. A área à montante dominada pelos biotita-gnaisses é praticamente toda constituída de afloramentos

de grande porte, ora em forma de blocos ora em forma de lajedos com alternância de bandas máficas e félsicas, com foliação bem definida, algumas vezes apresentando fenocristais de feldspato. Na estaca 9 +10,00m essas rochas fazem contato com a aluvião ou afloram formando barreiras no leito do rio Treme (também conhecido localmente como rio São Joaquim). Ao longo do rio, mais ou menos 100m à jusante ocorrem alguns afloramentos de gnaiss e micaxisto e se percebe a presença de um dique de anfibolito encaixado no gnaiss, preenchendo uma fratura no sentido NW-SE, concordante com a foliação.

- Da estaca **9 + 10,00m a 11 + 5,00m**: A faixa de aluvião formada pelo rio no eixo da barragem não ultrapassa a largura de 40 metros de uma margem para outra. No leito do rio a areia possui granulometria fina a média, com pedregulhos e cascalhos e presença de mica; nas margens ocorre silte areno-argiloso de granulometria fina e cor cinza clara.
- Da estaca **11 + 5,00m a 15 + 10,00m**: A partir da margem direita do rio o terreno apresenta uma topografia mais suave, com ausência de afloramentos, apresentando um solo silto-arenoso de coloração amarelada, provavelmente de alteração de gnaiss.
- Da estaca **15 + 10,00m a 20 +5,00m**: Nessa faixa o terreno mantém ainda uma topografia plana e o solo muda as características, se tornando mais argiloso com coloração mais escura (Foto N° 01), podendo ser originário de uma rocha anfibolítica ou de um mica-xisto associado a anfibolito, formando uma extensa faixa encaixada no gnaiss, se estendendo de montante para jusante perpendicularmente ao eixo da barragem. Foram localizados alguns afloramentos de anfibolito, tanto à montante como à jusante, cujas medidas de atitudes revelam uma orientação segundo NW-SE, com mergulho acentuado, entre 70° a 80° para NE. Numa área situada entre 80m a 140m para montante a topografia do terreno se eleva formando um morro com vários afloramentos dispersos de anfibolito, em forma de blocos.

- Da estaca **20 + 5,00m a 30**: Há nessa área o domínio dos gnaisses migmatíticos, com a maior parte dos afloramentos ocorrendo para jusante, principalmente quando dissecados pelas grotas. Nessa área o terreno é mais abaulado e acidentado. Entre as estacas 23 a 25, no eixo, ocorre um grande afloramento que se destaca na topografia (Foto N° 02), mostrando diversas estruturas de movimentação, evidenciando-se estruturas nebulíticas, shlierien e boudinage (Foto N° 03). Foi visualizado também um plano de cisalhamento onde ocorre uma sequência de dobramentos de arrasto com deslocamentos causados por fratura de movimento horizontal destal (Foto N° 04). Em outro afloramento na área ocorrem dobramentos do tipo “bainha”, que indicam três fases distintas de dobramento. As medidas de atitude de foliação mostram uma direção preferencial no sentido NW-SE, com mergulho de 20° para SW. As rochas ácidas filoneanas ocorrem principalmente nas áreas próximas às ombreiras, sendo representadas por veios de pegmatito e de quartzo, preenchendo fraturas concordantes ou não com a foliação.



Foto N° 02 – Grande afloramento de gnaisse migmatítico na ombreira direita, no eixo, entre as estacas 23 a 25.



Foto N° 03 – Estrutura de boudinage, evidenciando movimentos extensionais, relacionados a eventos de transcorrência.



Foto N°04 - Plano de cisalhamento (N48° Az) com pequenos dobramentos de arrasto com deslocamentos causados por falhamento transcorrente, de movimento dextral.

O eixo do sangradouro, que fica localizado em uma área afastada do eixo da barragem, situa-se num contexto de rochas gnáissicas migmatíticas, apresentando via de regra um aspecto são, com boas qualidades mecânicas. As medidas de atitudes de foliação mostram uma direção preferencial segundo NE-SW, com mergulhos que variam de 15° a 50° para NW, indicando que a foliação da rocha se comporta obliquamente em relação ao eixo do sangradouro.

Estruturalmente, na área escolhida para o barramento, nenhuma ocorrência de maior porte foi identificada. No local do sangradouro foi visualizada uma fratura cortando transversalmente o eixo entre as estacas 8 e 9, discordantemente com a foliação. A linearidade do talvegue da grota que se desenvolve ao longo do canal de sangria também sugere a existência de uma fratura ou falha.

A partir de 318 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes, em toda área, incluindo barragem e sangradouro, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que conforme mostra a Figura nº 3.3, se dá segundo NW-SE, concentrando-se principalmente entre N90°Az a N100°Az, representando um percentual de 17,3% do total medido e entre N120°Az a N130°Az, representando 12,6%. O mergulho se dá preferencialmente subvertical (60° a 80°) para SW.

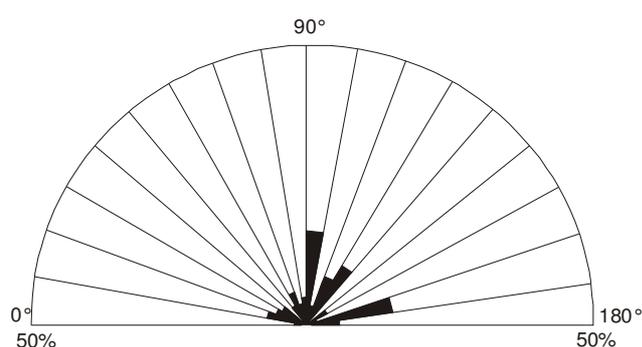


FIGURA Nº 3.3 - DIAGRAMA DE ROSETA PARA 318 MEDIDAS DE DIREÇÕES DE FRATURAS.

4. INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DO BARRAMENTO

4. INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DO BARRAMENTO

Os Estudos Geotécnicos do Sítio da Barragem João Guerra foram objeto do Contrato N°002/PROGERIRH/PILOTO/SRH/2001 e foram apresentados no VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS, TOMO 4 – GEOLOGIA E GEOTÉCNIA. No trabalho desenvolvido pela SLA está previsto o aproveitamento desses estudos e complementados ou não se necessário.

Neste capítulo são reapresentados os Estudos Geotécnicos constante do TOMO 4 – GEOLOGIA E GEOTÉCNIA.

As investigações geotécnicas realizadas no local do maciço da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Para concretização deste objetivo foram realizadas 17 prospecções mecânicas, sendo 8 sondagens à percussão e 9 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa), nas posições indicadas na figura n° 4.1 , apresentada a seguir.

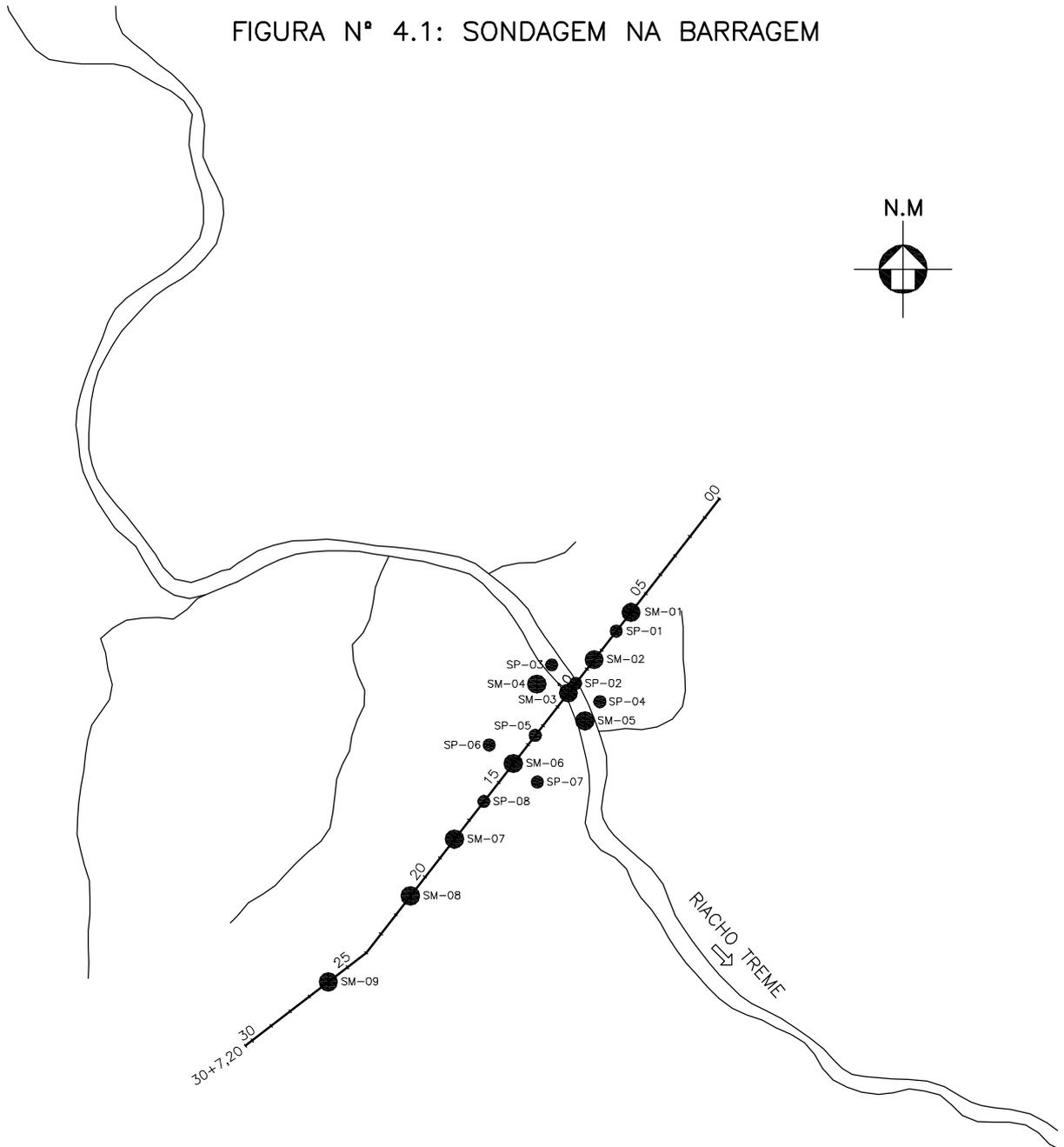
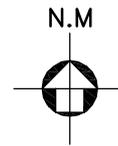
Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em todos os furos das sondagens mistas do eixo. No trecho em solo, estes testes consistiram de ensaios de infiltração de carga e vazão constante e de carga variável (Lefranc) e, no trecho perfurado com sonda rotativa, de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

4.1. SONDAGENS A PERCUSSÃO

Nas sondagens a percussão foram empregados dois processos para avanço do furo, iniciando-se com um trado concha de 4” e prosseguindo-se até alcançar o nível d'água ou tornar-se inoperante diante da consistência ou compacidade do material encontrado. A partir destas condições o furo foi revestido e passou-se

então ao processo de perfuração com circulação de água, usando-se o trépano de lavagem como ferramenta de escavação e a remoção do material escavado através da água de lavagem. Ao ser encontrado material resistente ao avanço pelo processo de circulação de água o furo foi interrompido.

FIGURA Nº 4.1: SONDAGEM NA BARRAGEM



Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2” e 1 3/8” de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual foi cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65kg, com altura de queda de 75cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer tal ferramenta penetrar cada 15cm no terreno, até uma penetração total de 45cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15cm, ou seja, dos 30cm finais de cravação, está apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens, no Tomo 4-A Estudos Geotécnicos - Anexos. Esta soma de golpes é denominada de “Standard Penetration Test (SPT)”.

Na Tabela N° 4.1, a seguir, são relacionadas as sondagens percussivas, suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compactidade ou consistência.

TABELA N °4.1: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM JOÃO GUERRA							
SONDAGEM PERCUSSIVA							
N°	ESTACA	COORDENADAS (UTM)		COTA (m)	EXTENSÃO SONDADA	SPT MÍNIMO	COMPACIDADE OU CONSISTENCIA MÍMIMA
		ESTE (X)	Norte (Y)				
SP-1	7 (eixo)	428.561	9.484.831	373,67	3,27	5	Pouco compacta
SP-2	9+15 (eixo)	428.527	9.484.787	363,01	3,85	1	Fofa
SP-3	9+15 (25m para montante)	428.507	9.484.803	362,17	5,75	1	Fofa
SP-4	9+15 (25 m para jusante)	428.547	9.484.772	363,21	1,73	2	Fofa
SP-5	12+10,00 (eixo)	428.494	9.484.745	364,23	6,20	3	Fofa
SP-6	14 (25m para montante)	428.456	9.484.736	367,00	8,05	7	Pouco compacto
SP-7	14 (25m para jusante)	428.495	9.484.706	363,63	5,94	17	Medianamente compacta
SP-8	16 (eixo)	428.541	9.484.690	368,09	2,61	14	Medianamente compacta

As sondagens percussivas realizadas na região do maciço da barragem totalizaram 37,40m.

4.2. SONDAGENS MISTAS

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. O processo de execução do trecho percussivo foi semelhante ao descrito no subitem 4.1- Sondagem Percussiva. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa NX de diamante acoplada a um barrilete duplo. A sonda utilizada foi a MARCH-850. Para cada operação do barrilete foi registrada a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

Na Tabela Nº 4.2, a seguir, são relacionadas as sondagens mistas, informadas suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.

TABELA Nº 4.2: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM JOÃO GUERRA								
SONDAGEM MISTA								
Nº	ESTACA	COORDENADAS (UTM)		COTA (m)	EXTENSÃO (M)		SPT MIN.	ROCHA PREDOMINANTE
		ESTE (X)	NORTE (Y)		PERCUSSÃO	ROTATIVA		
SM-1	6 (eixo)	428.573	9.484.846	376,85	3,24	6,01	12	Gnaisse muito macia a moder. dura, foliada
SM-2	8+10 (eixo)	428.542	9.484.807	367,12	10,04	12,91	21	Gnaisse muito macia a muito dura, foliada
SM-3	10+5 (eixo)	428.515	9.484.772	363,97	5,81	15,00	4	Gnaisse moder. dura a muito dura, foliada
SM-4	10+15 (25 m Mont.)	428.495	9.484.787	364,03	6,78	15,02	3	Gnaisse macia a muito dura, foliada e mica-xisto muito dura
SM-5	10+15 (25 m Jusante)	428.535	9.484.756	360,46	3,82	15,00	2	Gnaisse mod. dura a muito dura, foliada e biotita-xisto

**TABELA Nº 4.2: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM JOÃO GUERRA
SONDAGEM MISTA**

Nº	ESTACA	COORDENADAS (UTM)		COTA (m)	EXTENSÃO (M)		SPT MIN.	ROCHA PREDOMINANTE
		ESTE (X)	NORTE (Y)		PERCUSSÃO	ROTATIVA		
SM-6	14 (eixo)	428.476	9.484.721	364,78	5,89	12,01	2	Biotita- xisto macia a muito dura, xistosa e gnaisse dura
SM-7	18 (eixo)	428.427	9.484.659	369,39	4,85	6,00	12	Biotita- xisto moder. dura a muito dura, xistosa
SM-8	21 (eixo)	428.391	9.484.612	367,91	4,92	8,41	16	Gnaisse muito dura, gran. fina, foliada
SM-9	26 (eixo)	428.323	9.484.541	378,32	1,45	6,05	38	Biotita- xisto muito macia a muito dura, xistosa

Portanto, na região do maciço do barramento foram executadas 9 sondagens mistas, totalizando 143,21 m, dos quais 46,80 m com emprego de sonda percussiva e 96,41 m com sonda rotativa.

4.3. ENSAIOS DE CAMPO

Nas sondagens mistas, trecho em solo, SM-1 a SM-9, foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. Os ensaios de permeabilidade em solos foram executados conforme as orientações para a sua execução no campo preconizadas no Boletim Nº 04 (junho de 1996) pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O número de ensaios e a permeabilidade máxima (cm/s) encontradas por furo são relacionadas na Tabela nº 4.3.

Nas sondagens mistas, trecho em rocha, SM-1 a SM-9, foram executados ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. Os ensaios de perda d’água Lugeon foram executados conforme as orientações preconizadas no Boletim Nº 02 da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O

número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas na Tabela nº 4.3.

TABELA Nº 4.3: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA NO EIXO DA BARRAGEM JOÃO GUERRA							
ENSAIOS DE CAMPO							
Nº	ESTACA	EXTENSÃO SONDADA	Nº DE ENSAIOS LEFRANC	Nº DE ENSAIOS LUGEON	MÁXIMA PERMEAB. REGISTRADA (CM/S)	MÁXIMA PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA REGISTRADA	PROFUNDIDADE DE MÁXIMA PERMEAB. / PERDA D'ÁGUA
SM-1	6 (eixo)	9,25	-	2		13,16	/9,20 a 12,20
SM-2	8+10 (eixo)	22,95	-	4		1,13	/11,0 a 13,95
SM-3	10+5 (eixo)	20,81	5	5	1,2x10E-4	5,72	4,00 a 4,50 /11,87 a 14,81
SM-4	10+15 (25 m Mont.)	21,80	6	5	2,1x10E-4	4,46	1,00 a 1,50 /6,80 a 9,80
SM-5	10+15 (25 m Jusante)	18,82	3	5	1,6x10E-2	1,50	1,00 a 1,50 /12,82 a 15,82
SM-6	14 (eixo)	17,90	3	4	1,5x10E-4	15,81	1,50 a 2,00 /5,90 a 8,90
SM-7	18 (eixo)	10,85	4	2	1,8x10E-3	1,59	2,00 a 2,50 /7,85 a 10,85
SM-8	21 (eixo)	13,33	4	3	1,2x10E-1	1,47	3,00 a 3,50 /7,92 a 10,92
SM-9	26 (eixo)	7,50	1	2	3,8x10E-4	0	1,00 a 1,50

Perda D'água em l/min/m/atm

4.4. COMENTÁRIOS

Desta campanha de sondagem realizada no boqueirão da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- a) Na ombreira esquerda as sondagens mistas SM-01 e 02 (estacas 6 e 8+10) detectaram uma cobertura de solo com 3,24 e 10,04 m de espessura, respectivamente, e a sondagem percussiva SP-01 (estaca 7) uma espessura de 3,27 m. A constituição predominante deste solo é silto arenosa, micácea, com compacidade de medianamente compacto a muito compacto e permeabilidade máxima de 4×10^{-4}

- b) No leito do rio as sondagens percussivas SP-02, SP-03 e SP-04 indicaram um sedimento de areia fina a média, siltosa com pedregulho, com espessura entre 1,73 e 3,80 m, com compactidade fofa e nível d'água praticamente aflorante. Subjacente a este sedimento encontrou-se um cobrimento de solo residual, classificado como silte arenoso micáceo, medianamente compacta, com espessura entre 0,85 e 1,95 m.
- c) Na faixa compreendida entre a margem direita do rio e a ombreira direita, entre a estaca 11 a 22, a espessura média total do solo é de 5,28m, sendo que, a 25 m a montante da estaca 14 m foi registrado 8 m de espessura. O nível d'água não foi encontrado. Deve-se levar em conta que essa camada de solo é constituída de aluvião e solo residual, este último situa-se entre a aluvião e substrato rochoso e tem espessura média de 2,4 m, por diferença, portanto, a espessura média do solo de aluvião seria 2,88m.
- d) Ainda nessa faixa, entre a estaca 11 a 22, as sondagens rotativas mostraram no substrato uma alternância de gnaisse e biotita-xisto, ocorrendo com elevado grau de alteração e fraturamento na porção mais superficial, melhorando a qualidade à medida que se aprofunda. Há variações grandes no RQD, indo desde zero até 100%. O mergulho das fraturas também oscila muito, ocorrendo fraturas diagonais (45°), verticais (90°), subhorizontais (30°) e sub-verticais (70°), muitas vezes com aberturas, mostrando superfícies irregulares com marcas de oxidação que indicaram percolação de fluidos. As fraturas ocorrem também algumas vezes, com preenchimento de minerais (biotita, feldspato, clorita, etc.) ou por argila
- e) Via de regra os ensaios Lugeon foram realizados de forma descendente, com espaçamento de 3 metros na rocha, com inserção de um único obturador. Os resultados obtidos nestes ensaios mostram uma variação na permeabilidade do meio rochoso, com perdas desde zero até valores muito elevados, sendo um fator de preocupação quanto à necessidade de tratamento da fundação através de cortina de injeção de cimento. Na

ombreira esquerda os ensaios realizados na sondagem da estaca 8+10 indicaram uma perda d'água máxima de 1,13 l/min/m/atm; na margem direita (junto a calha do rio) os ensaios realizados na sondagem do eixo da estaca 10+15 indicaram uma perda máxima de 5,72 l/min/m/atm, na mesma estaca, porém a 25 m para montante, alcançou o máximo de 4,46 l/min/m/atm e, a 25 m para jusante, o máximo de 1,50 l/min/m/atm. Na faixa entre a margem do rio e a ombreira direita, os ensaios elaborados na sondagem da estaca 14 registraram uma perda máxima de 3,22 l/min/m/atm e na estaca 18, zona de rocha mica-xisto associado a anfíbolito, o máximo de 1,59 l/min/m/atm. Nos ensaios da estaca 21, próximo ao sopé da ombreira direita, registrou-se a perda d'água máxima de 1,18 l/min/m/atm. Na sondagem da ombreira direita, estaca 26, os ensaios não registraram perda d'água.

- f) comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas apresenta variações, sendo que predominam os casos: “turbulento com fechamento” e de “deformação com abertura”, este último sempre verificado quando os valores de perda foram mais elevados.
- g) Na ombreira direita, entre as estacas 22 a 30m, observou-se a ocorrência de grandes afloramentos de gnaisses migmatíticos entre as estacas 23 e 25. No entanto a única sondagem realizada nesta ombreira, SM-9, revelou uma espessura de solo de 1,45 m sobrejacente a uma rocha biotita-xisto muito macia, decomposta e muito fraturada, no seu primeiro metro superficial, e a seguir com dureza classificada de medianamente a muito dura, sã e pouco fraturada.

5. INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DO SANGRADOURO

5. INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DO SANGRADOURO

Os Estudos Geotécnicos do Sítio da Barragem João Guerra foram objeto do Contrato N°002/PROGERIRH/PILOTO/SRH/2001 e foram apresentados no VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS, TOMO 4 – GEOLOGIA E GEOTÉCNIA. No trabalho desenvolvido pela SLA está previsto o aproveitamento desses estudos e complementados ou não se necessário.

Neste capítulo são reapresentados os Estudos Geotécnicos constante do TOMO 4 – GEOLOGIA E GEOTÉCNIA.

5.1. SONDAGENS REALIZADAS

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas.

Para este fim foram realizados 8 furos de sondagens mistas (iniciados por percussão e prosseguido com sonda rotativa) e 1 furo de sondagem percussiva, nas posições indicadas na figura n° 5.1, apresentada a seguir.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

O processo de execução destas sondagens obedeceu ao mesmo processo descrito anteriormente , nos subitens 4.1 e 4.2, para sondagens a percussão e rotativa.

Na Tabela N° 5.1, a seguir, é mostrada a relação das sondagens mistas realizadas no local do sangradouro.

TABELA N° 5.1: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM JOÃO GUERRA								
SONDAGENS MISTAS NO SANGRADOURO								
N°	ESTACA	COORDENADAS (UTM)		COTA (m)	EXTENSÃO (m)		ROCHA PREDOMINANTE	GRAU DE INTEMPERISMO
		ESTE (X)	NORTE (Y)		PERCUS	ROTAT		
SM-10	5 (eixo)	428.622	9.485.747	378,39	0,50	6,01	Biotita-Xisto, moder. dura a muito dura, gr. fino, xistosa	Sã
SM-11	8 (eixo)	428.654	9.485.798	375,42	4,60	5,94	Biotita-Xisto, muito dura, gr. fino, xistosa	Sã
SM-12	12 (eixo)	428.697	9.485.865	375,91	0,90	6,04	Biotita-Xisto, muito dura, gr. fino, xistosa	Sã
SM-13	2+16,4 (110 m Jusante)	428.692	9.485.651	373,15	6,80	6,09	Gnaisse, foliada e Biotita-Xisto, xistosa moder. a muito dura,	Ligeiramente a moderadam. intemperizada
SM-14	9+6,40 (90m Jusante)	428.593	9.485.868	378,06	0,90	6,20	Biotita-Xisto, dura a muito dura, gr. fino, xistosa	Sã
SM-15	5+10,30 (160 m Montante)	428.493	9.485.842	377,83	3,30	6,15	Biotita-Xisto, moder. dura a muito dura, gr. fino, xistosa	Ligeiramente intemperizada a sã
SM-16	2+1 (116,7 m Montante)	428.492	9.485.759	377,49	0,95	6,09	Biotita-Xisto, muito dura, gr. fino, xistosa	Sã
SM-17	7+19,3 (46,6 m Montante)	428.615	9.485.822	374,39	1,30	6,10	Biotita-Xisto, muito dura, gr. fino, xistosa	Sã

As sondagens mistas realizadas na área do sangradouro totalizam 19,25m de perfurações percussivas e 48,62 m de perfurações rotativas.

Na tabela 5.2 são apresentadas as características da sondagem percussiva realizada na região do sangradouro.

TABELA N° 5.2: INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DA BARRAGEM JOÃO GUERRA						
SONDAGEM PERCUSSIVA NO SANGRADOURO						
N°	ESTACA	COORDENADAS (UTM)		COTA DA BOCA (m)	EXTENSÃO DO FURO (m)	COTA DO IMPENETRÁVEL (m)
		ESTE (X)	NORTE (Y)			
SP-9	6 (eixo)	428.633	9.485.764	376,79	1,80	374,99

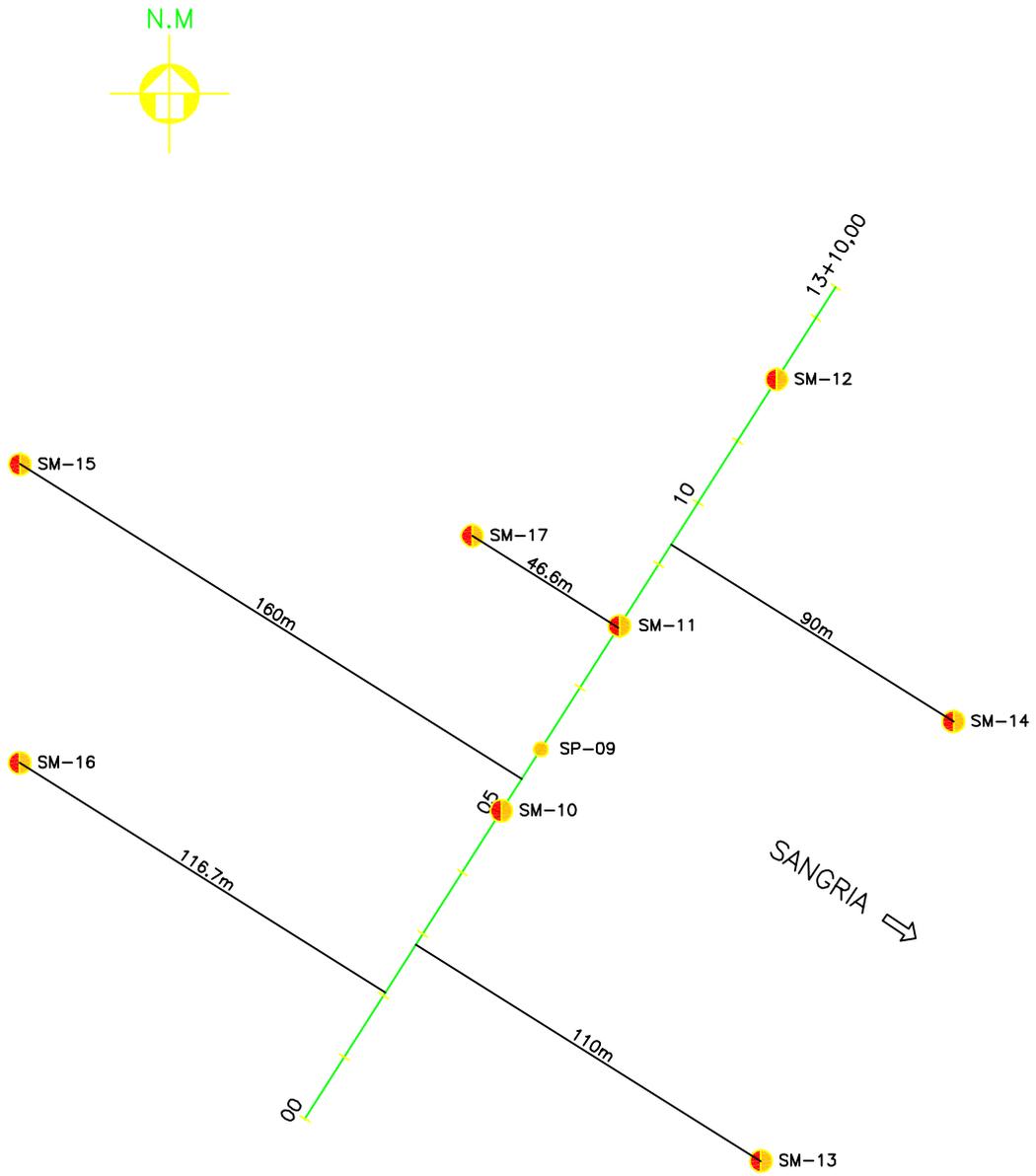
Portanto, a investigação percussiva no local do sangradouro totalizou 1,80 m.

5.2. COMENTÁRIOS

Desta campanha de sondagem realizada no sangradouro da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- a) A espessura média do solo de recobrimento sobre o topo rochoso foi avaliada em 2,34 m, sendo os valores limites de 0,50 e 6,80 m. No eixo do sangradouro verificou-se que na região das ombreiras o recobrimento de solo é menos espesso, na ordem de 0,50 a 0,90 m, e na região central alcança cerca de 4,60 m.
- b) Da análise geral das oito sondagens rotativas executadas na área do sangradouro percebe-se que a rocha perfurada constituiu-se predominantemente de biotita-xisto, sã, dura a muito dura, ou seja, com características mecânicas indicativas de boa qualidade. Há, porém, alguns casos em que a rocha, mesmo com este grau de sanidade, é bastante fraturada, com baixos valores de RQD, o que acarretou inclusive perda total da água de circulação durante a perfuração.

FIGURA Nº 5.1: SONDAGEM NO SANGRADOURO



6. ESTUDOS DAS OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS

6. ESTUDOS DAS OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS

Os Estudos das Ocorrências de Materiais do Sítio da Barragem João Guerra foram objeto do Contrato N°002/PROGERIRH/PILOTO/SRH/2001 e foram apresentados no VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS, TOMO 4 – GEOLOGIA E GEOTÉCNIA. No trabalho desenvolvido pela SLA está previsto o aproveitamento desses estudos e complementados ou não se necessário.

Neste capítulo são reapresentados os Estudos das Ocorrências de Materiais constante do TOMO 4 – GEOLOGIA E GEOTÉCNIA.

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da barragem foram iniciados por um simples reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento, de modo que fossem selecionadas as ocorrências potencialmente aproveitáveis, levando-se em conta a qualidade do material e os volumes disponíveis.

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas 4 jazidas de solos, cuja situação em relação ao eixo pode ser vista na figura n° 6.1, como também uma pedreira e um areal.

A fonte de obtenção de material pétreo foi considerada as escavações obrigatórias do sangradouro, já que a qualidade da rocha é considerada boa e o volume é suficiente para atender as demandas.

Para o fornecimento de agregado miúdo para os concretos e elemento filtrante e drenante dos filtros indicou-se os bancos de areia existentes ao longo do riacho Treme e seu afluente o riacho Santa Rosa. Embora as calhas dos riachos não tenham larguras expressivas, os bancos ocorrem quase de forma contínua, sendo possível a obtenção dos volumes necessários através de uma exploração de uma extensão à montante e jusante do eixo da barragem.

6.1 JAZIDAS DE SOLOS

A jazida J-01 situa-se em uma área da ombreira esquerda, que tanto se desenvolve para montante como para jusante do eixo, com sua zona central

distanto cerca de 0,20 km para a estaca zero. A jazida J-02 constitui-se numa pequena área, a cerca de 0,15 km a montante do eixo, na zona aluvionar do rio. A jazida J-03 situa-se a montante do eixo, em zona elevada à direita do riacho Treme (também conhecido localmente como rio São Joaquim), distando para a estaca zero cerca de 1,2 km. A área onde situa-se a jazida J-04 fica a montante do eixo, no lado direito do riacho Treme, distante cerca de 0,95 km para a estaca zero.

FIGURA Nº 6.1: LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS
DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS



As jazidas de solos foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de 50 m de lado, cobrindo a área a ser explorada, conforme é mostrado nas figuras n°s 6.2 a 6.5, apresentadas a seguir. Os horizontes encontrados nestes furos foram identificados, classificados tátil visualmente e medidas suas espessuras. Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidas a campanha de ensaios geotécnicos, a saber:

- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 80-64)
- Granulometria por Sedimentação (DNER-ME 51-64)
- Limite de Liquidez (DNER-ME 44-71)
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 82-63)
- Compactação – Proctor Normal (DNER-ME 48-64)
- Peso Específico dos Grãos. (DNER-ME 93-64)

Nas Tabelas N° 6.1, 6.2, 6.3 e 6.4 são mostrados os resumos dos resultados dos ensaios de laboratório.

Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foram realizados os seguintes ensaios especiais nas ocorrências de solo:

- Permeabilidade de Carga Variável.
- Triaxial (tipo Consolidado Drenado – lento)

Como os ensaios de permeabilidade de carga variável e o triaxial não são normalizados, foram realizados por técnicas usuais.

FIGURA N° 6.2: JAZIDA – 01

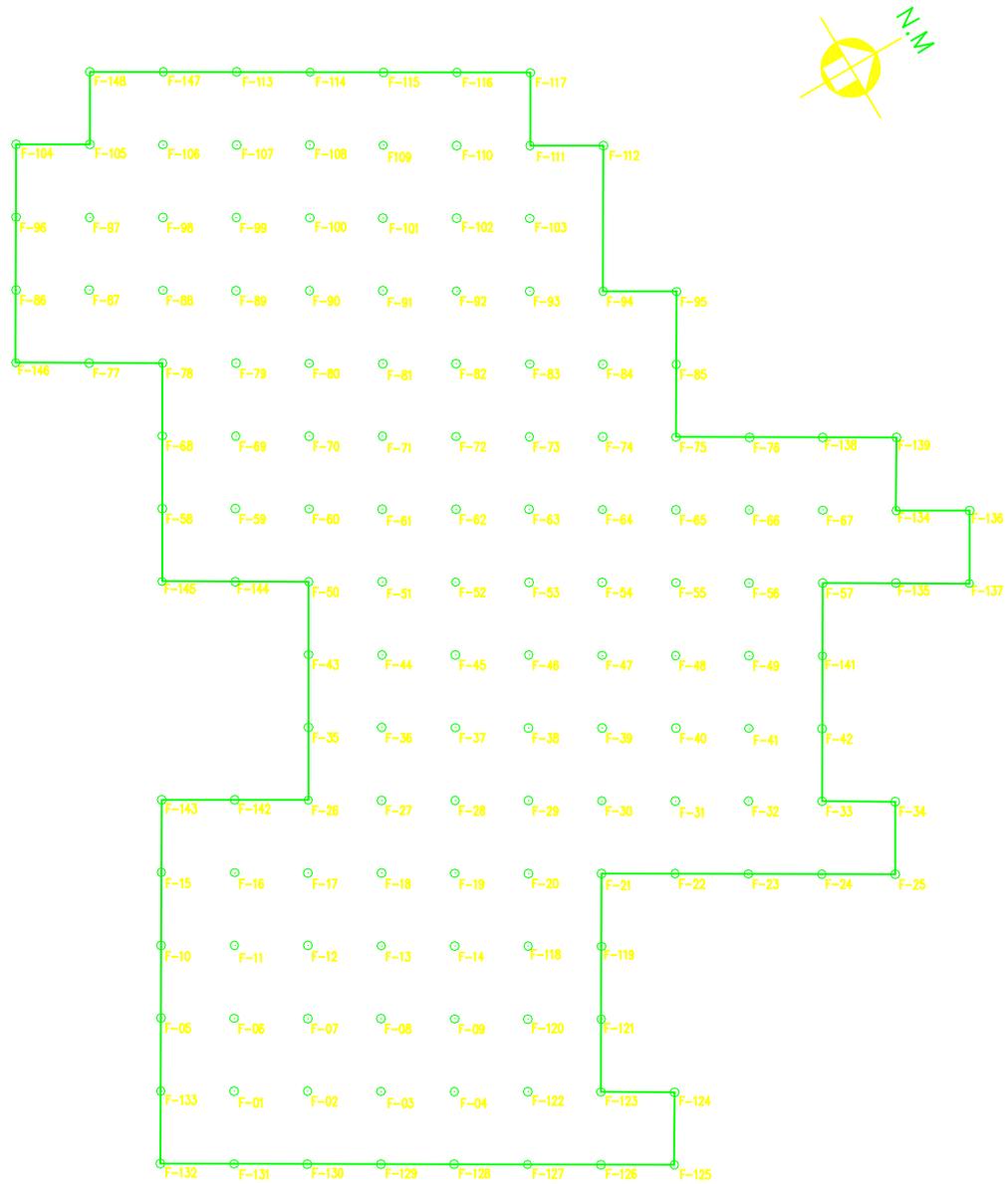


FIGURA N° 6.3: JAZIDA 2

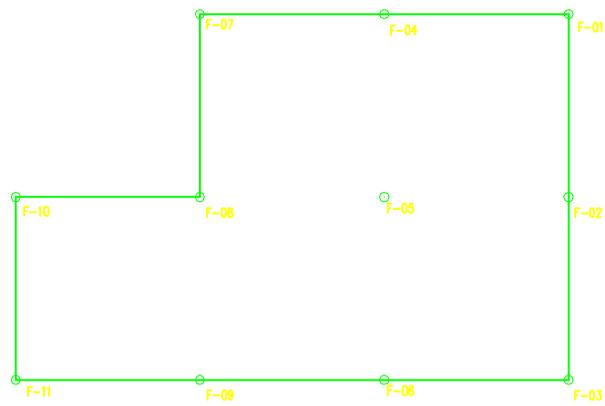


FIGURA N° 6.5: JAZIDA 4

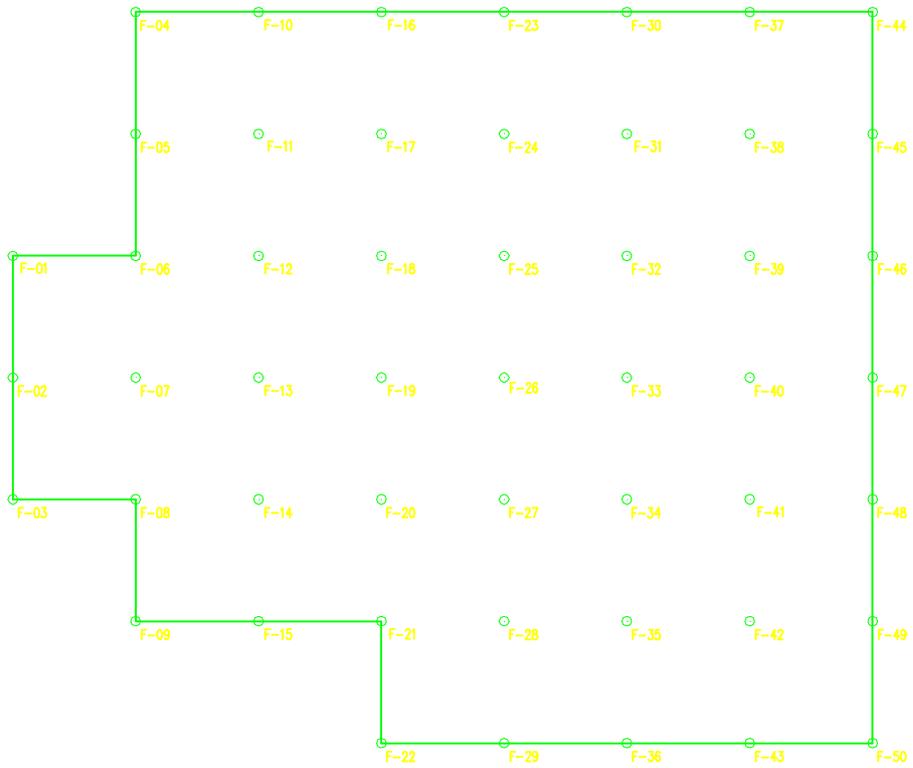
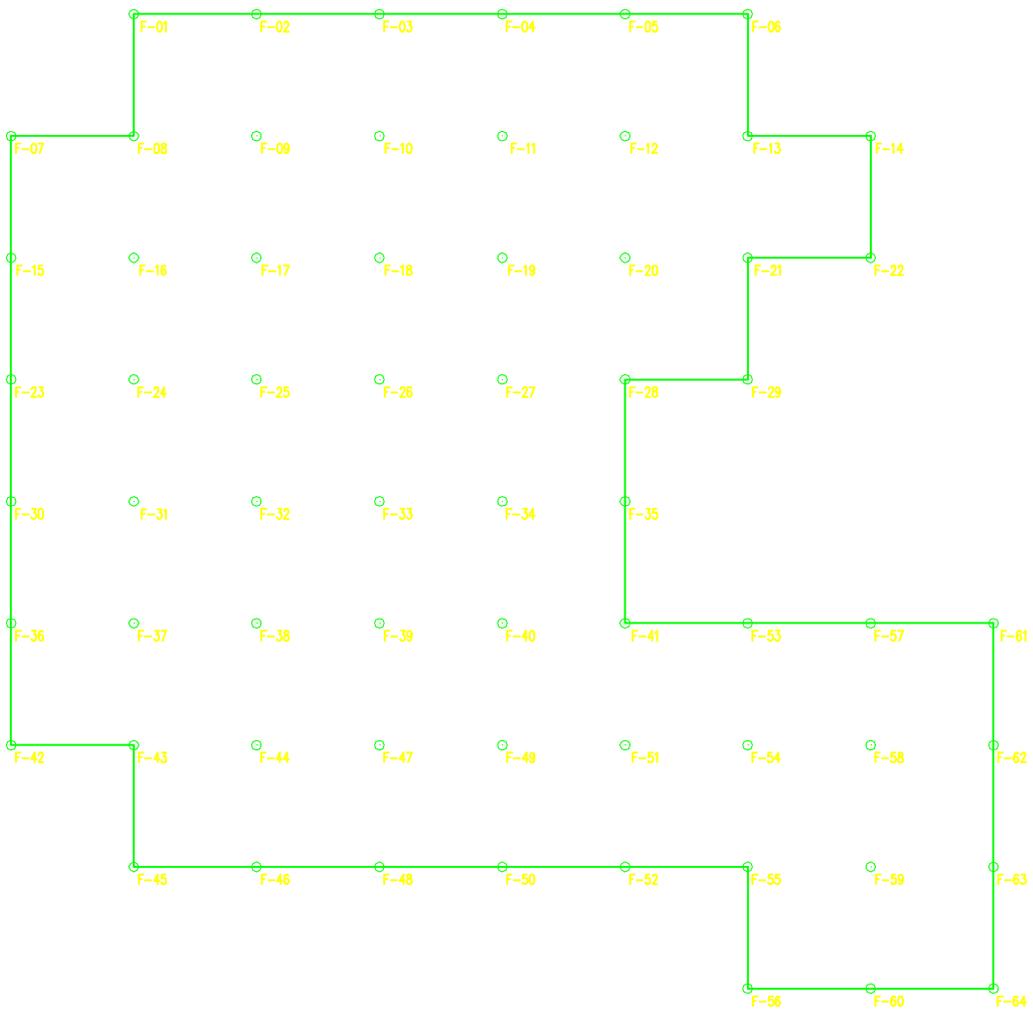


FIGURA N° 6.4: JAZIDA – 03



RESUMO DOS ENSAIOS

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA

LOCAL: JAZIDA 01

FURO	04	15	21	23	28	43	47	58	66	71		
PROFUNDIDADE (m)	0,80	1,00	1,20	0,80	0,60	1,00	0,70	1,30	1,20	0,70		
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	100	94	100	100	100	96	100	100	100	100
		3/4"	100	94	100	100	100	94	100	100	100	100
		1/2"	98	93	99	99	100	94	99	98	100	100
		3/8"	96	93	98	97	100	93	98	97	100	98
		Nº 4	86	91	95	93	98	91	94	95	99	95
	Nº 10	78	87	88	88	95	90	86	93	96	90	
	FINA	Nº 40	64	69	63	69	69	75	68	79	69	65
		Nº 100	55	57	46	59	47	64	55	65	44	50
Nº 200		50	51	40	54	36	57	48	57	34	38	
LL	45,2	46,2	36,1	45,2	NL	46,1	45,9	46,1	36,1	39,1		
LP	27,9	28,9	27,1	28,9	NP	27,8	27,8	27,7	25,9	27,1		
IP	17,3	17,3	9,0	16,3	NP	18,3	18,1	18,4	10,2	12,0		
U.S.C.	CL	CL	SC	CL	SM	CL	SC	CL	SC	SC		
PESO ESPECÍFICO APARENTE MÁX. (g/cm³)	1,752	1,853	1,784	1,824	1,859	1,805	1,792	1,740	1,857	1,882		
UMIDADE ÓTIMA (%)	15,40	15,60	15,70	15,60	12,90	19,40	16,60	17,30	13,50	13,39		
PERMEABILIDADE (cm/s)	5,0E-07			4,7E-07		3,7E-07	3,5E-07			1,7E-06		
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)	2,56			2,56		2,56	2,57			2,61		
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm (%)	39			39		46	37			12		
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)				1,401			1,439					
UMIDADE NATURAL (%)				3,10			3,10					

PROJETO: **BARRAGEM JOÃO GUERRA**

RESUMO DE ENSAIOS

**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
SRH**

LOCAL: **JAZIDA 01**

DATA:
JUL/2001

SLA CONSULTORIA

TABELA Nº
6.1 (1/2)

RESUMO DOS ENSAIOS

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA

LOCAL: JAZIDA 01

FURO	04	15	21	23	28	43	47	58	66	71		
PROFUNDIDADE (m)	0,80	1,00	1,20	0,80	0,60	1,00	0,70	1,30	1,20	0,70		
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	100	94	100	100	100	96	100	100	100	
		3/4"	100	94	100	100	100	94	100	100	100	
		1/2"	98	93	99	99	100	94	99	98	100	100
		3/8"	96	93	98	97	100	93	98	97	100	98
		Nº 4	86	91	95	93	98	91	94	95	99	95
	Nº 10	78	87	88	88	95	90	86	93	96	90	
	FINA	Nº 40	64	69	63	69	69	75	68	79	69	65
		Nº 100	55	57	46	59	47	64	55	65	44	50
Nº 200		50	51	40	54	36	57	48	57	34	38	
LL	45,2	46,2	36,1	45,2	NL	46,1	45,9	46,1	36,1	39,1		
LP	27,9	28,9	27,1	28,9	NP	27,8	27,8	27,7	25,9	27,1		
IP	17,3	17,3	9,0	16,3	NP	18,3	18,1	18,4	10,2	12,0		
U.S.C.	CL	CL	SC	CL	SM	CL	SC	CL	SC	SC		
PESO ESPECÍFICO APARENTE MÁX. (g/cm³)	1,752	1,853	1,784	1,824	1,859	1,805	1,792	1,740	1,857	1,882		
UMIDADE ÓTIMA (%)	15,40	15,60	15,70	15,60	12,90	19,40	16,60	17,30	13,50	13,39		
PERMEABILIDADE (cm/s)	5,0E-07			4,7E-07		3,7E-07	3,5E-07			1,7E-06		
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)	2,56			2,56		2,56	2,57			2,61		
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm (%)	39			39		46	37			12		
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)				1,401			1,439					
UMIDADE NATURAL (%)				3,10			3,10					

PROJETO: **BARRAGEM JOÃO GUERRA**

RESUMO DE ENSAIOS

**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
SRH**

LOCAL: **JAZIDA 01**

DATA:
JUL/2001

SLA CONSULTORIA

TABELA Nº
6.1 (1/2)

RESUMO DOS ENSAIOS

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA

LOCAL: JAZIDA 01

FURO	80	83	95	100	104	113	117	123				
PROFUNDIDADE (m)	0,80	1,10	0,40	1,30	0,70	0,50	1,00	0,90				
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100			
		3"	100	100	100	100	100	100	100			
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100			
		2"	100	100	100	100	100	100	100			
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100			
		1"	100	100	100	100	100	100	100			
		3/4"	100	100	100	100	99	100	100			
		1/2"	98	97	99	100	99	98	97	93		
		3/8"	97	96	99	99	99	98	96	92		
		Nº 4	92	93	97	98	98	95	94	88		
	Nº 10	82	85	91	94	98	90	89	82			
	FINA	Nº 40	55	61	66	75	86	66	69	58		
		Nº 100	43	50	52	64	72	49	54	38		
Nº 200		39	41	47	54	64	42	45	30			
LL	41,8	38,1	44,2	41,2	46,4	40,3	39,1	NL				
LP	27,9	25,8	28,8	27,1	26,0	28,0	26,3	NP				
IP	13,9	12,3	15,4	14,1	20,4	12,3	12,8	NP				
U.S.C.	SC	SC	SC	CL	CL	SC	SC	SM				
PESO ESPECÍFICO APARENTE MÁX. (g/cm³)	1,854	1,859	1,750	1,710	1,632	1,882	1,826	2,130				
UMIDADE ÓTIMA (%)	14,24	13,98	17,19	17,60	19,50	13,00	14,59	11,50				
PERMEABILIDADE (cm/s)	4,4E-07					4,6E-07		7,1E-07				
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)	2,57					2,58		2,60				
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm (%)	31					29		18				
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)	1,398					1,468		1,443				
UMIDADE NATURAL (%)	3,10					4,10		4,10				

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA	RESUMO DE ENSAIOS	
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH	LOCAL: JAZIDA 01	DATA: JUL/2001
	SLA CONSULTORIA	TABELA Nº 6.1 (2/2)

RESUMO DOS ENSAIOS

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA

LOCAL: JAZIDA 02

FURO		08											
PROFUNDIDADE (m)		0,50											
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100										
		3"	100										
		2 1/2"	100										
		2"	100										
		1 1/2"	100										
		1"	100										
		3/4"	100										
		1/2"	100										
		3/8"	100										
	Nº 4	99											
	Nº 10	99											
	FINA	Nº 40	84										
		Nº 100	67										
Nº 200		57											
LL		44,3											
LP		29,1											
IP		15,2											
U.S.C.		CL											
PESO ESPECÍFICO APARENTE MÁX. (g/cm³)		1,768											
UMIDADE ÓTIMA (%)		16,80											
PERMEABILIDADE (cm/s)		5,9E-07											
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)		2,58											
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm (%)		47											
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)		1,433											
UMIDADE NATURAL (%)		3,10											

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA		RESUMO DE ENSAIOS	
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS	LOCAL: JAZIDA 02	DATA: JUL/2001	
	SRH	SLA CONSULTORIA	TABELA Nº 6.2

RESUMO DOS ENSAIOS

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA

LOCAL: JAZIDA 03

FURO	04	09	20	24	32	41	43	59				
PROFUNDIDADE (m)	0,50	1,00	0,60	0,70	0,60	0,70	0,90	0,70				
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100			
		3"	100	100	100	100	100	100	100			
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100			
		2"	100	100	100	100	100	100	100			
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100			
		1"	100	100	100	95	100	92	100	100		
		3/4"	100	100	98	95	100	92	100	100		
		1/2"	96	99	94	94	99	92	100	94		
		3/8"	94	99	93	93	99	92	99	92		
		Nº 4	89	95	90	91	97	90	94	85		
	Nº 10	84	88	85	87	89	86	90	80			
	FINA	Nº 40	62	62	46	66	67	69	65	61		
		Nº 100	48	50	26	52	59	53	50	48		
Nº 200		43	45	21	45	55	47	45	43			
LL	35,9	44,1	NL	42,3	44,1	42,1	38,2	38,2				
LP	26,0	29,0	NP	28,0	27,0	28,9	26,1	25,9				
IP	9,9	15,1	NP	14,3	17,1	13,2	12,1	12,3				
U.S.C.	SC	SC	SM	SC	CL	SC	SC	SC				
PESO ESPECÍFICO APARENTE MÁX. (g/cm³)	1,746	1,645	1,878	1,778	1,766	1,778	1,840	1,882				
UMIDADE ÓTIMA (%)	14,43	17,66	11,79	14,01	14,48	14,50	15,86	12,27				
PERMEABILIDADE (cm/s)		3,1E-07	1,6E-06				6,8E-07	9,0E-07				
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)		2,58	2,62				2,58	2,57				
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm (%)		38	05				35	33				
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)		1,451	1,376				1,478	1,464				
UMIDADE NATURAL (%)		3,10	3,50				4,10	3,10				

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA	RESUMO DE ENSAIOS	
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH	LOCAL: JAZIDA 03	DATA: JUL/2001
	SLA CONSULTORIA	TABELA Nº 6.3

RESUMO DOS ENSAIOS

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA

LOCAL: JAZIDA 04

FURO	02	13	17	21	31	33	42	47				
PROFUNDIDADE (m)	0,70	0,40	0,80	1,00	0,60	0,70	0,40	0,70				
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100			
		3"	100	100	100	100	100	100	100			
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100		
		2"	100	100	100	100	100	100	100	100		
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100		
		1"	100	100	96	96	88	100	100	100		
		3/4"	100	100	94	94	85	100	100	100		
		1/2"	100	99	93	92	82	100	100	99		
		3/8"	100	98	92	91	80	100	100	98		
		Nº 4	99	95	86	90	74	99	99	97		
	Nº 10	96	94	78	87	67	93	97	92			
	FINA	Nº 40	78	76	43	59	42	72	79	62		
		Nº 100	62	56	29	43	26	58	62	41		
Nº 200		56	48	23	38	21	52	55	33			
LL	42,0	44,1	NL	36,1	27,9	46,1	44,2	36,4				
LP	27,9	28,3	NP	25,8	23,1	27,8	28,0	26,1				
IP	14,1	15,8	NP	10,3	4,8	18,3	16,2	10,3				
U.S.C.	CL	SC	SM	SC	SC	CL	CL	SC				
PESO ESPECÍFICO APARENTE MÁX. (g/cm³)	1,662	1,728	2,010		2,130	1,719	1,682	1,790				
UMIDADE ÓTIMA (%)	13,43	14,36	9,42		11,46	19,03	15,09	14,83				
PERMEABILIDADE (cm/s)	5,3E-07		1,8E-06	1,3E-06				7,7E-07				
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)	2,56		2,62	2,60				2,60				
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm (%)	46		7	27				19				
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)	1,381		1,685	1,633				1,497				
UMIDADE NATURAL (%)	3,10		3,90	3,10				3,90				

PROJETO: BARRAGEM JOÃO GUERRA	RESUMO DE ENSAIOS	
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH	LOCAL: JAZIDA 04	DATA: JUL/2001
	SLA CONSULTORIA	TABELA Nº 6.4

TABELA Nº 6.5: VALORES MÉDIOS DOS ENSAIOS ESPECIAIS DAS JAZIDAS			
JAZIDA	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (cm/s)	TRIAXIAL	
		COESÃO (kgf/cm²)	φ (°)
J-01	1,7X10E-6 a 4,5x10E-7	0,25	16,9
J-02	5,9x10E-7	-	-
J-03	1,6x10E-6 a 3,1x10E-7	0,21	19,1
J-04	1,3x10E-6 a 7,6x10E-7	0,02	25,2

6.2. AREAL

O areal foi identificado e estudado para a execução do filtro vertical, dreno horizontal e concretos.

Selecionou-se uma extensão do riacho Treme e do Santa Rosa, onde foram executados furos à trado e medida a largura da calha do rio, de forma a suprir os volumes de areia estimados para as obras. Nestes furos foram coletadas amostras para a realização do seguinte ensaio de laboratório:

- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 51-64)

Na Tabela Nº 6.6 são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.

TABELA Nº 6.6 VALORES MÉDIOS DOS ENSAIOS DO AREAL											
AREAL	GRANULOMETRIA PASSANTE (%)								D_{max} (mm)	M.F.	USC
	½"	3/8"	Nº4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100			
A-1	100	100	96	90	69	33	7	1	4,8	3,1	SP

Além do ensaio geotécnico de laboratório anteriormente mencionado, foi realizado o ensaio de permeabilidade de carga constante. Como este ensaio não se encontra normalizado, foi realizado por técnicas usuais, recomendados por literatura. O valor médio encontrado é mostrado na Tabela Nº 6.7.

TABELA Nº 6.7 VALORES MÉDIOS DOS ENSAIOS ESPECIAIS DO AREAL	
AREAL	COEFICIENTE DE PERMEABILIDADE (cm/s)
A-01	4,8x10E-3

6.3. PEDREIRA

Para obtenção de materiais pétreos necessários para as proteções dos taludes do maciço, dreno de pé, transições e concretos indicam-se as escavações obrigatórias do sangradouro, realizadas em uma rocha biotita-xisto, sã. A distância do sangradouro até a estaca zero do eixo da barragem é de 1,0 km. A região da sela onde localizou-se o sangradouro é pródiga em afloramentos rochosos, merecendo destaque a elevação que compõe a sua ombreira direita.

Foram coletadas amostras dos afloramentos do sangradouro, ditos pedreira P-01, para a realização dos ensaios de desgaste por Abrasão “Los Angeles” (DNER-ME 65-64). Na Tabela Nº 6.8 é apresentado o valor médio dos ensaios.

TABELA Nº 6.8 VALORES MÉDIOS DOS ENSAIOS DA PEDREIRA
ABRASÃO LOS ANGELES (%)
25,7

6.4. COMENTÁRIOS

As observações de campo associadas aos exames dos ensaios laboratoriais permitem os seguintes comentários a cerca dos materiais construtivos estudados para a barragem João Guerra.

- a) As caracterizações realizadas (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04, permitiram enquadrar os materiais estudados nos grupos SC (areia argilosa) e CL (areia siltosa) da “Classificação Unificada USC”.

O enquadramento dos solos na “Classificação Unificada USC” possibilita estimar suas características no que concerne a sua utilização na construção de barragens de terra. Segundo Sherard¹, os solos dos tipos SC e CL apresentam as seguintes características:

¹ Sherard, J. L. et al – Earth Rock Dams, John Wiley and Sons, Inc., 1963

Solo SC

- Alta resistência à erosão.
- Alta a média resistência ao cisalhamento.
- Impermeável.
- Boa a regular trabalhabilidade.

Solo CL

- Alta resistência à erosão.
- Média resistência ao cisalhamento.
- Impermeável.
- Regular trabalhabilidade.

As propriedades acima citadas são esperáveis para obras em que sejam feitos controles de umidade e densidade durante a construção. Para orientação destes controles são apresentados na Tabela N° 6.9 os valores médios da massa específica seca (MES) máxima ($\gamma_{sm\acute{a}x}$) e a umidade ótima (h_{ot}), obtidas nos ensaios de compactação das jazidas.

TABELA N° 6.9: ENSAIOS DE LABORATÓRIO DE COMPACTAÇÃO				
DISCRIMINAÇÃO	JAZIDAS			
	J-01	J-02	J-03	J-04
MES max.(g/cm ³)	1,822	1,768	1,789	1,856
Umid. ótima (%)	15,5	16,8	14,4	13,6

- b) O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta características apropriadas para tais fins. Caso seja necessária a

complementação destes volumes, indica-se os afloramentos da mesma rocha, na elevação da ombreira direita do sangradouro.

- c) Os bancos de areia dos riachos Treme e Santa Rosa, com permeabilidade média de $4,8 \times 10^{-3}$, são apropriados como fonte de suprimento de agregado miúdo para os concretos e para elemento drenante/ filtrante do sistema de drenagem interna do maciço.

7. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS E TOPOGRÁFICOS

7. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS E TOPOGRÁFICOS

Os Estudos Cartográficos e Topográficos do Sítio da Barragem João Guerra foram objeto do Contrato N°002/PROGERIRH/PILOTO/SRH/2001 e foram apresentados no VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS, TOMO 3 – CARTOGRAFIA E TOPOGRAFIA. No trabalho desenvolvido pela SLA está previsto o aproveitamento desses estudos e complementados ou não se necessário.

Neste capítulo são reapresentados os Estudos Cartográficos e Topográficos constante do TOMO 3 – CARTOGRAFIA E TOPOGRAFIA.

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE digitalizadas em escala 1 : 100.000 e com curvas de nível a cada 40 metros; sobre as quais foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica.

As cartas topográficas utilizadas foram:

- Itatira: n° SB-24-V-B-V

Para a identificação das alternativas de localização do eixo da barragem João Guerra, utilizou-se a base cartográfica supracitada, que também permitiu o inventário das áreas dos possíveis reservatórios, identificando-se a rede de rodovias existentes, a infra-estrutura relevante como redes elétricas, açudes e escolas, as ocorrências de materiais construtivos, núcleos urbanos, o sistema de drenagem principal e pontos de possíveis fugas.

A bacia hidrográfica da barragem foi delimitada sobre as cartas da SUDENE e avaliada em 134,26 km².

O contorno da bacia hidrográfica da barragem João Guerra está apresentado na figura 7.1 a seguir, em escala bastante reduzida.

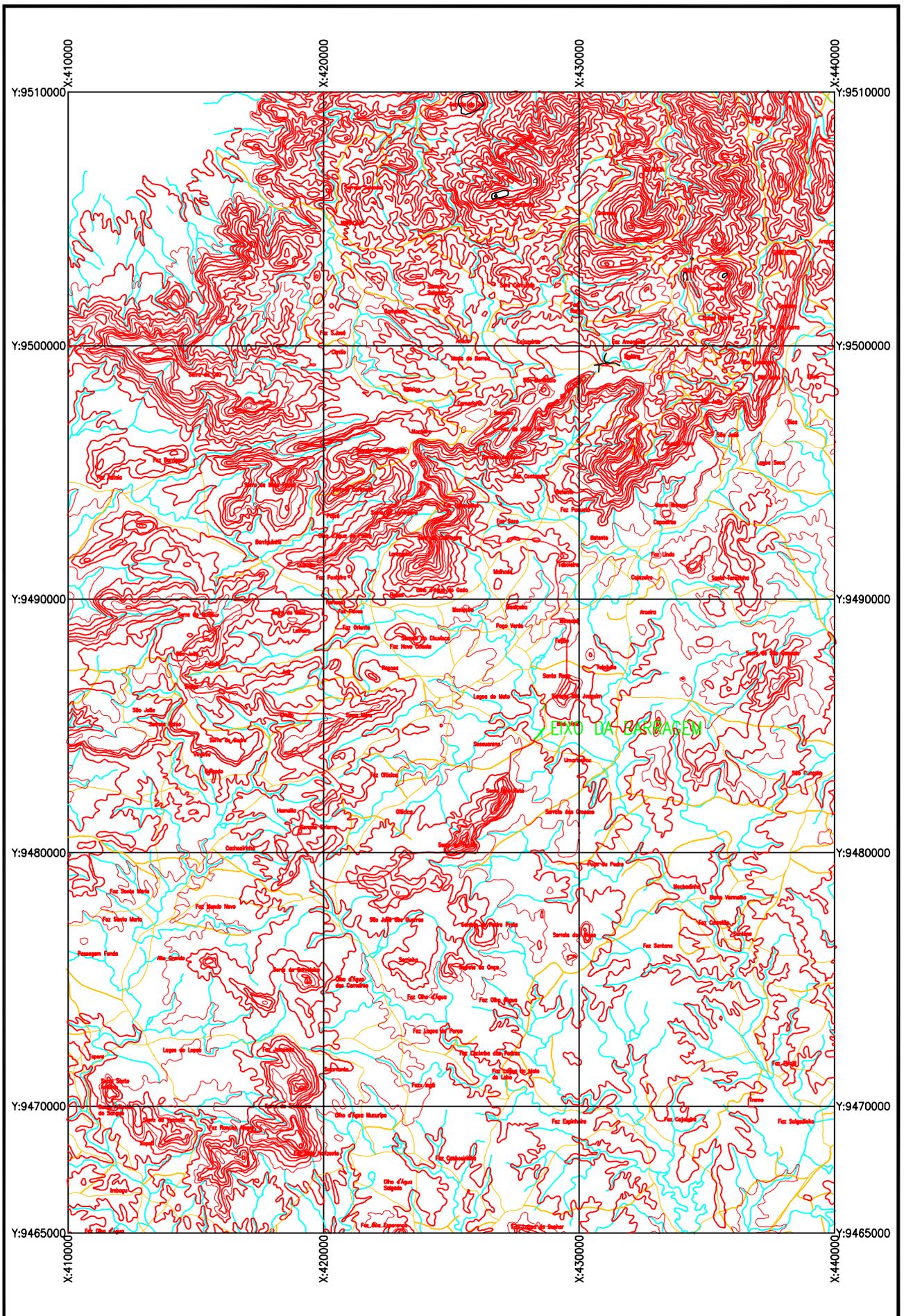


FIGURA N° 7.1: BACIA HIDROGRÁFICA

7.1. TRANSPORTE DE COORDENADAS

Adotando-se o sistema de levantamento com GPS (Sistema de Posicionamento Global), foram determinadas as coordenadas dos marcos M-1 na estaca 00 e M-3 na estaca 30+7,20, no eixo da barragem João Guerra e das estacas 03 e 13+10,00 do eixo do sangradouro, a partir do *Datum* SAD-69. Estes pontos foram locados um em relação ao outro, usando o próprio GPS, para a verificação da precisão obtida.

O quadro a seguir apresenta as coordenadas UTM, longitude e latitude geodésica dos pontos levantados.

PONTO	ESTACA	COORDENADAS UTM (m)		LONGITUDE GEODÉSICA	LATITUDE GEODÉSICA
		ESTE	NORTE		
EIXO DA BARRAGEM					
Marco M-1	00	428.649,044	9.484.943,941	39°38'35,91339"WGr	4°39'34,05693"S
Marco M-3	30+7,2	428.257,460	9.484.488,519	39°38'48,63647"WGr	4°39'48,87657"S
EIXO DO SANGRADOURO					
Estaca 03	03	428.604,102	9.485.713,722	39°38'37,34917"WGr	4°39'08,98705"S
Est. 13+10	13+10,0	428.715,716	9.485.889,423	39°38'33,72162"WGr	4°39'03,26843"S

7.2. TRANSPORTE DE COTA

O transporte de cota foi realizado por meio de irradiação taqueométrica, tendo sido utilizado para esse trabalho um GPS, juntamente com uma Estação Total, modelo Nikon – DTM-400.

Tomou-se como base a RN nº 1898 T do IBGE, cravada na calçada do Templo da Congregação Cristã do Brasil no distrito de Lagoa do Mato, nas coordenadas N = 9.486,1 km e E = 424,6 km e cota 418,3717 m.

A tolerância máxima admitida entre o nivelamento e o contra-nivelamento do transporte de cota foi de $T = 12,5 \cdot \sqrt{k}$, onde T é expresso em mm e k é o comprimento do caminhamento em km.

7.3. LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO

O eixo da barragem João Guerra foi locado em um boqueirão com características topográficas favoráveis, onde o sangradouro foi definido e estudado em uma sela topográfica situada à esquerda, a cerca de 1,0 km da estaca 00 do eixo da barragem.

Os levantamentos topográficos do eixo da barragem e sangradouro, foram executados através de irradiação taqueométrica, pelo método de coordenadas com identificação dos eixos: Este, Norte, elevação e descrição dos pontos identificados. Os serviços realizados foram: locação, implantação de marcos para futura relocação, nivelamento e levantamento de seções transversais.

7.3.1. Locação dos Eixos e Implantação de Marcos

Utilizando-se GPS e a Estação descrita anteriormente, locou-se o eixo da barragem e sangradouro, o qual foi materializado a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

O eixo da barragem parte da estaca 00, localizada na ombreira esquerda, onde implantou-se o marco de concreto M-1. Para uma melhor locação do eixo se fez necessária uma única deflexão de $52^{\circ}11'$ à direita na estaca 24, onde está instalado o marco M-2, seguindo daí até a estaca final 30+7,20, onde o marco M-3 foi implantado, totalizando uma extensão de 607,20 metros.

Já o eixo do sangradouro possui estaqueamento em sentido invertido, isto é, o estaqueamento cresce da direita para a esquerda, partindo da estaca 00 e finalizando na estaca 13+10,00, perfazendo um total de 270,00 metros de extensão.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

MARCO	ESTACA	COORDENADAS UTM (M)	
		ESTE	Norte
M-1	00	428.649	9.484.944
M-2	24	428.359	9.484.568
M-3	30+7,20	428.259	9.484.491

Na figura 7.2 é apresentada uma planta com a localização dos marcos topográficos de amarração do eixo final da barragem João Guerra.

7.3.2. Nivelamento

O levantamento altimétrico da barragem João Guerra e o seu respectivo sangradouro, foi realizado utilizando-se GPS e Estação Total, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado. A partir deste levantamento, gerou-se o perfil longitudinal do terreno natural no eixo da barragem e do sangradouro.

7.3.3. Levantamento de Seções Transversais

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

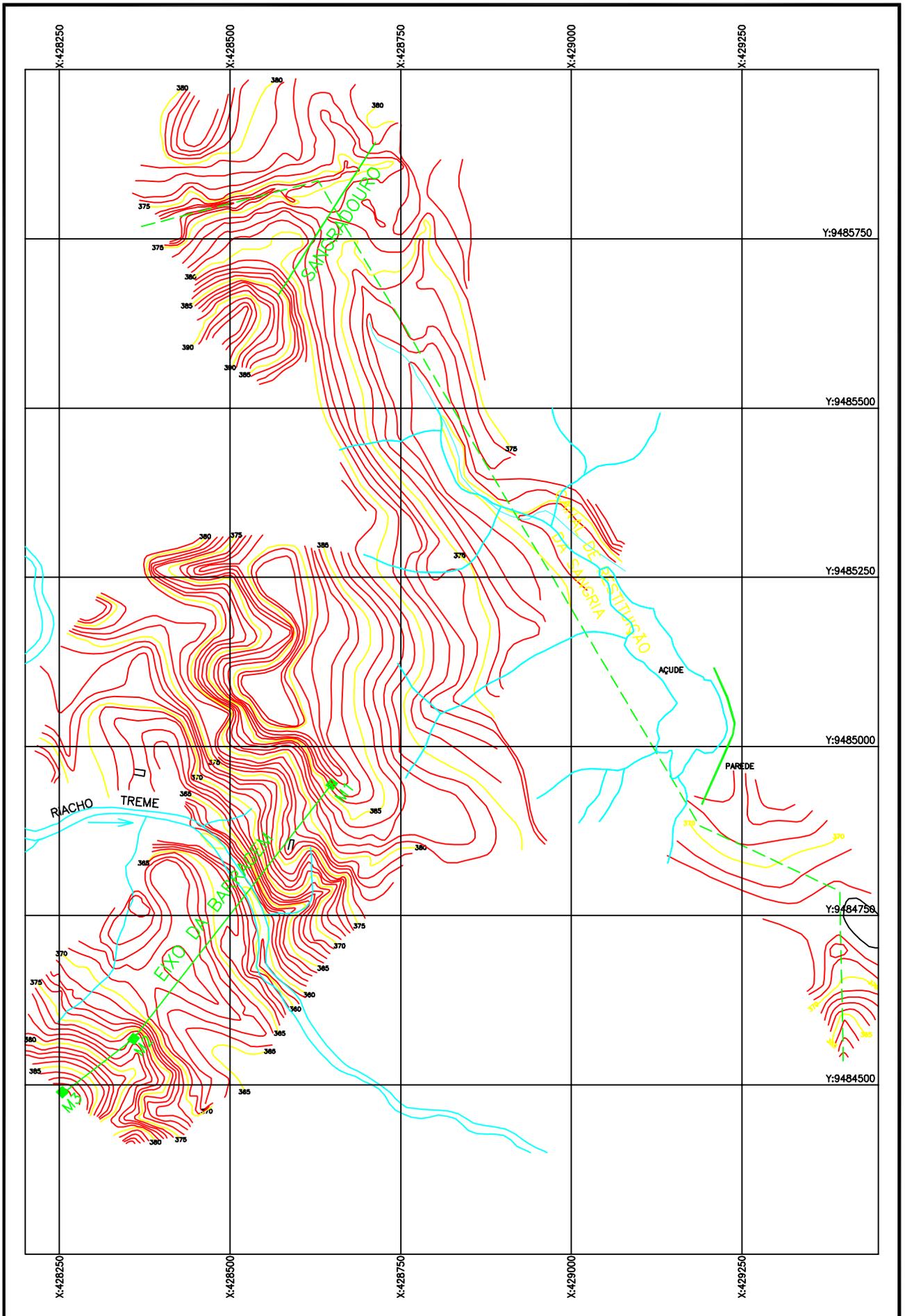


FIGURA Nº 7.2: LOCALIZAÇÃO DOS MARCOS TOPOGRÁFICOS DE AMARRAÇÃO DO EIXO FINAL DA BARRAGEM E SANGRADOURO

7.4. LEVANTAMENTO DO CANAL DE RESTITUIÇÃO

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

7.4.1. Locação

Locou-se o canal de restituição utilizando-se GPS e Estação Total, o qual foi estaqueado e numerado a cada 50 metros, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis do relevo.

A partir da estaca 08 do eixo do sangradouro, foi locada a poligonal do canal de restituição com 1.850 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até o riacho Treme.

7.4.2. Nivelamento e Seções Transversais

Utilizando-se o mesmo equipamento citado no item anterior, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, através de seccionamento a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros. A partir desse levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro.

7.5. LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA

Apresenta-se neste capítulo o planejamento geral e os resultados dos trabalhos planialtimétricos, realizados na área da bacia hidráulica da barragem João Guerra, no distrito de Lagoa do Mato, pertencente ao município de Itatira no estado do Ceará.

O levantamento da bacia hidráulica foi executado pela empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S.A., tendo como objetivo a execução de serviços de

engenharia cartográfica, compreendendo cobertura aerofotogramétrica colorida na escala 1:15.000, totalizando 19 km² e mapas digitais na escala 1:5.000, da bacia hidráulica que totalizaram 7,74 km².

Os serviços foram desenvolvidos de acordo com as normas de aerolevantamentos vigentes.

7.5.1. Trabalhos Executados

Apresentamos abaixo a relação das fases dos trabalhos executados neste projeto:

- Cobertura Aerofotogramétrica;
- Apoio de campo;
- Aerotriangulação;
- Restituição digital em escala 1:5.000;
- Geração de arquivos magnéticos.

7.5.2. Cobertura Aerofotogramétrica

Após a concessão da autorização do ministério da defesa iniciaram-se os trabalhos da cobertura aerofotogramétrica os quais apresentamos a seguir.

a) Plano de Vôo

Foi executado um plano de vôo indicando o centro de cada tomada de foto, utilizando o software TPLAN, e a câmara aérea RMK-TOP obedecendo às seguintes especificações:

- Recobrimento lateral: 30% ± 3%;
- Recobrimento longitudinal: 60% ± 3%;
- Ângulo solar: mínimo de 300 para regiões planas e 350 para regiões montanhosas;
- Ângulo de deriva: média por faixa, tolerância de 20, casos isolados 50;

- Verticalidade do eixo ótico: média por faixa, tolerância de 20, casos isolados 30;
- Altitude do vôo: a escala da fotografia em função da altura de vôo, não deverá variar mais que 5% do estabelecido.

b) Recobrimento Aerofotogramétrico

A cobertura aerofotogramétrica foi realizada com aeronave especialmente adaptada à tomada de fotografias aéreas, equipada com piloto automático e equipamento rastreador de satélites do sistema NAVSTAR – GPS, para a orientação do vôo, equipada com câmara aerofotogramétrica automática, grande angular e distância focal calibrada, próxima de 152 milímetros e formato útil de 23x23 centímetros.

A câmara foi equipada com controlador automático de recobrimento e deriva, com mecanismo de integração com GPS de navegação e com chassis com suspensão giro-estabilizada. Esta possui Certificado de Calibração, fornecido pelo fabricante, realizado a um ano.

O filme aéreo utilizado foi base estável (poliéster), pancromático, colorido, alto poder resolutivo (no mínimo 125 linhas por milímetros) com, no mínimo, 0,004 polegadas de espessura e dentro do período de validade estipulado pelo fabricante.

c) Dados que constam nas fotos

- Escala da foto;
- Número da faixa;
- Número da foto;
- Nome do local;
- Coordenadas do centro das fotos no momento da tomada;
- Distância focal calibrada da câmara; e
- Marcas fiduciais.

d) Laboratório

O processamento do filme aéreo e de todos os seus subprodutos foi realizado em laboratório, com condições de temperatura e umidade relativa controladas.

As cópias fotográficas foram executadas em copiadoras eletrônicas, utilizando papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

e) Foto-índice

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram escanerizadas e montadas em faixas e estas em blocos, e, em seguida, reproduzidas em escala 4 (quatro) vezes menor que a escala original das fotos, em papel Semi Gloss, enquadradas por coordenadas geográficas, através de cruzetas desenhadas nos 4 (quatro) cantos de cada folha.

Dados contidos no Foto-índice:

- Número de cada exposição que o compõem;
- Números das faixas;
- Escala da foto;
- Escala do Foto-índice.

7.5.3. Apoio Básico

Na Barragem João Guerra foram implantados 02 vértices, monumentalizados por marcos de concreto de formato tronco piramidal medindo 10x12x50 cm, com chapa de bronze no centro do topo e elevado a 10 cm do solo.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem João Guerra tivemos na planimetria origem no V. GROSSO (BICO FINO) do IBGE de latitude 04°38'48,71811" S e longitude 39°25'46,65631" W e altitude de 482,00 m, e chegada no Vértice BARRA do IBGE de latitude 04°31'43,19058" S e longitude 39°23'55,08873" e altitude de 566,53 m.

Foram implantados os vértices M-01 A a M-02 A e sua determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

As medições foram feitas com GPS Trimble 4600LS de uma freqüência com duração de rastreio de 1 hora.

Os vértices implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem a RN 1678 P e a chegada RN 1678 U ambas do IBGE.

No apoio suplementar foram determinados 10 pontos plani-altimétricos denominados de HV-01 a HV-10.

A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:50.000.

As medições foram feitas com GPS Trimble 4600LS de uma freqüência com duração de rastreio de 0,30 hora.

A altimetria do apoio suplementar teve suas altitudes ortométricas determinadas por diferença geoidal definidas através do rastreio de duas RRNN do IBGE, as quais deram altitude aos pontos do apoio suplementar.

7.5.4. Aerotriangulação

As imagens para a geração dos trabalhos foram obtidas a partir da scanerização dos negativos fotogramétricos na escala de 1:15.000, com utilização de “scanner fotogramétrico” com capacidade de geração de imagens digitais com “pixel” de 28 microns.

aerotriangulação espacial foi executada em equipamentos digitais ISM dotados de programa específico para o cálculo e ajustamento da mesma utilizando a escanerização executada.

No cálculo da aerotriangulação foi utilizado o programa PAT-B do professor Ackermann.

Considerando a importância da aerotriangulação na precisão do produto final, os procedimentos foram rigorosamente controlados.

7.5.5. Restituição Fotogramétrica

Para a vetorização dos elementos cartográficos a seguir discriminados, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico.

Elementos Cartográficos representados:

- Sistema hidrográfico;
- Altimetria;
- Referências de nível.

A altimetria foi definida até a cota 382 mais 100 metros, para maior segurança dos dados do projeto, perfazendo um total de 7,44 km² de área restituída.

Todos os trabalhos seguiram as INSTRUÇÕES REGULADORAS DAS NORMAS TÉCNICAS DA CARTOGRAFIA NACIONAL, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

7.6. LEVANTAMENTO DE JAZIDAS

As áreas das ocorrências de materiais construtivos para execução da barragem João Guerra, foram amarradas a partir do eixo barrável, com a utilização de GPS e uma Estação Total, Nikon – DTM-400. As ocorrências objeto do levantamento planimétrico foram: quatro Jazidas de material terroso, Areal, e Pedreira.

7.6.1 Jazidas

Foram estudadas quatro jazidas de solo para a construção do maciço da barragem. Inicialmente locou-se a poligonal de amarração das jazidas J-1, J-2, J-3 e J-4, em relação ao eixo barrável, em seguida, através de uma linha base auxiliar, todos os poços escavados para investigação geotécnica das jazidas foram locados, numerados e amarrados.

O quadro a seguir apresenta a quantidade de furos, a área levantada e a distância de cada jazida, do primeiro furo locado ao eixo barrável.

LOCAL	QUANTIDADE DE FUROS	ÁREA (ha)	DIST. AO EIXO (m)
Jazida J-1	148	28,75	50
Jazida J-2	11	1,25	100
Jazida J-3	64	11,25	1.020
Jazida J-4	50	9,00	880

7.6.2. Areal

Para execução do filtro de areia e fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem João Guerra, foram realizadas investigações geotécnicas por meio de poços à pá e picareta, ao longo do areal do riacho Treme / Santa Rosa. O quadro a seguir apresenta as coordenadas destes poços.

FURO	COORDENADAS UTM (m)	
	ESTE	Norte
01	428.281	9.484.899
02	428.124	9.485.004
03	428.197	9.485.125
04	428.217	9.485.268
05	428.153	9.485.371
06	428.213	9.485.480
07	428.241	9.485.605
08	428.232	9.485.730
09	428.266	9.485.849
10	428.289	9.485.975
11	428.332	9.486.089
12	428.267	9.486.198

FURO	COORDENADAS UTM (m)	
	ESTE	Norte
13	428.156	9.486.252
14	428.041	9.486.220

7.6.3. Pedreira

O material pétreo necessário para a construção da barragem, será extraído das escavações obrigatórias do sangradouro, e caso seja necessário a complementação dos volumes, indica-se a elevação na ombreira direita do próprio sangradouro, onde ocorrem rochas sãs do tipo biotita-xisto, cujas coordenadas aproximadas são: E=428.522 e N=9.485.607.

8. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

8. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os Estudos Hidrológicos consistiram na elaboração dos seguintes serviços:

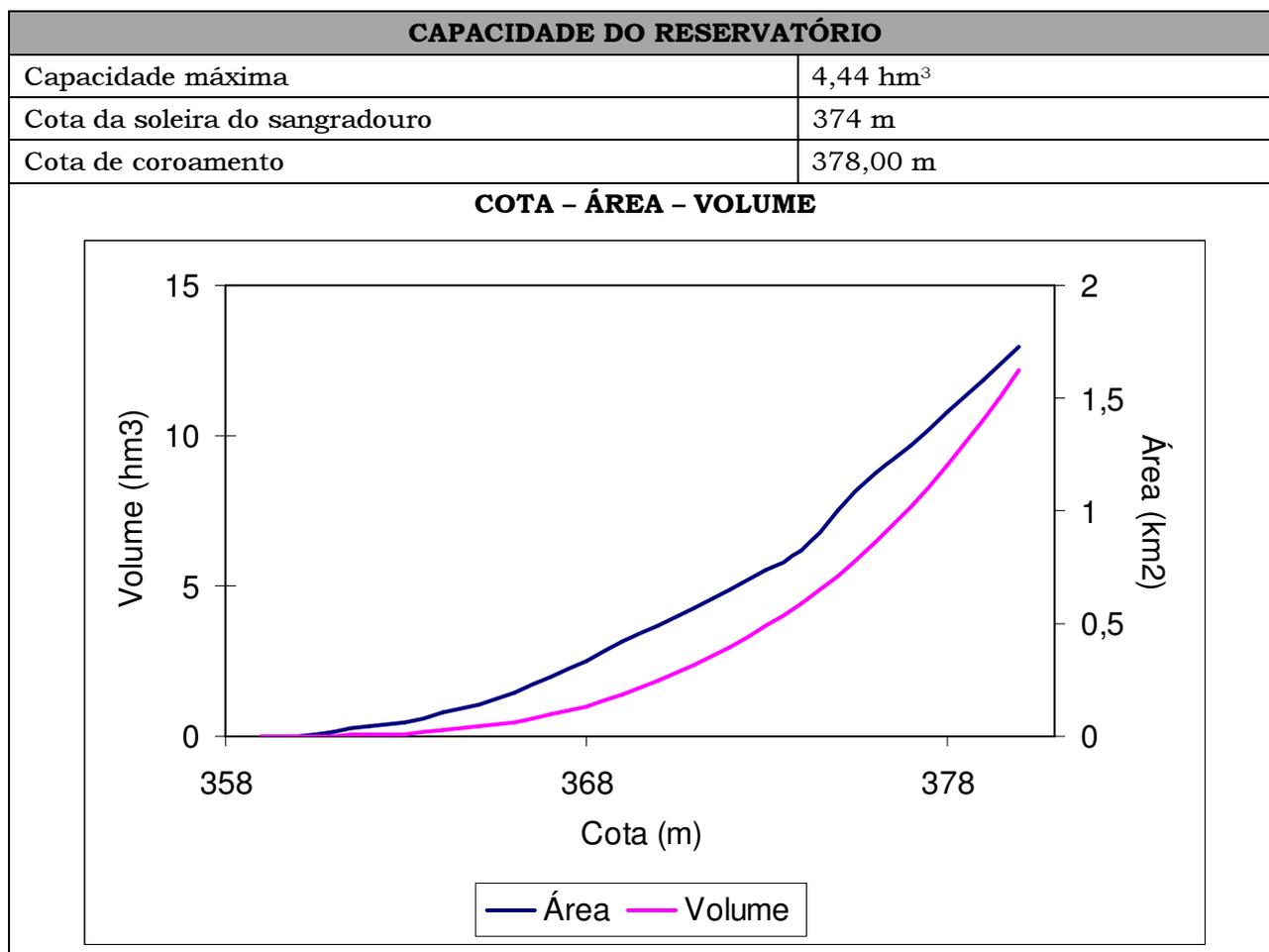
- Caracterização Física da Bacia Hidrográfica;
- Estudos Hidroclimatológicos;
- Estudos Pluviométricos;
- Estudo de Cheias;
- Curvas de Regulação do Reservatório;
- Dimensionamento do Sangradouro;
- Estudos Adicionais.

O sumário dos Estudos Hidrológicos é mostrado a seguir:

SUMÁRIO TÉCNICO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	
Área da bacia do Açude João Guerra	134,26 km ²
Perímetro da bacia do Açude João Guerra	57,60 km
Declividade Média da bacia do Açude João Guerra	7,37 m/km
Comprimento do rio principal	21,70 km
Fator de compacidade	1,40
Fator de forma	0,29
Tempo de concentração	4,71 hrs

ESTUDO DE CHEIAS	
Precipitação Efetiva	SCS
Propagação do Escoamento na Bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	85,75
Vazão afluente – Tempo de retorno = 1000 anos	1091 m ³ /s
Vazão afluente – Tempo de retorno = 10000 anos	1416 m ³ /s



CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO			
<i>RESOLUÇÃO DIRETA DA EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO - COTA 374 M</i>			
EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Q _r 90% (m ³ /s)
1,19 – 16,90%	4,93 – 69,70%	0,95 – 13,50%	0,040

DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO - PERFIL CREAGER: Z_w = 374,0 m			
LARGURA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q _{out} (m ³ /s)
Perfil Creager: Z _w = 374 m			
Tr = 1.000 anos - Q _{in} = 1091 m ³ /s			
50	378,20	4,20	915
60	377,80	3,80	950
70	377,50	3,50	974
80	377,30	3,30	993
90	377,10	3,10	1009
100	376,90	2,90	1021

DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO - PERFIL CREAGER: $Z_w = 374,0$ m			
LARGURA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{out} (m^3/s)
$Tr = 10.000$ anos - $Q_{in} = 1416$ m^3/s			
50	379,10	5,10	1200
60	378,60	4,60	1242
70	378,20	4,20	1274
80	377,90	3,90	1299
90	377,60	3,60	1315
100	377,40	3,40	1330

8.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia do Açude João Guerra abrange uma área de 134,26km², um perímetro de 57,6km, uma declividade de 7,37m/km e um comprimento do curso principal de 21,7km. A forma desta bacia pode agora ser caracterizada utilizando estes dados. A forma de uma bacia hidrográfica é importante, pois afeta o tempo de concentração, ou seja, o tempo do início da precipitação para que toda a bacia contribua no seu exutório, podendo assim servir como um indicativo de tendência para enchentes de uma bacia. Bacias pequenas variam muito de formato, dependendo da estrutura geológica da região.

8.1.1 - Índices de Forma da Bacia

A forma superficial de uma bacia hidrográfica está diretamente ligada à sua aptidão para formar ondas de cheias.

Vários índices podem ser utilizados para determinar a forma de bacias, procurando-a relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O fator de compacidade a relaciona com o círculo, enquanto que o fator de forma com o retângulo.

Assim, a bacia do açude João Guerra pode ser caracterizada por estes índices calculados da seguinte forma.

$$k_c = \frac{P}{\frac{2\pi\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}}}$$

Fator de compacidade

$$k_f = \frac{A}{L^2}$$

Fator de forma

Onde, A é a área, P o perímetro e L o comprimento do curso principal da bacia de interesse.

Para a bacia do açude João Guerra, tem-se que A= 134,26km², P= 57,6km e L=21,7km, o que resulta em um fator de forma (k_f) de 0,29 e um fator de compacidade (k_c) de 1,40.

Um fator de compacidade próximo a 1 corresponderia a uma bacia circular, e, se outros fatores forem iguais, uma bacia com este índice próximo a 1 teria uma tendência mais acentuada a maiores enchentes. O fator de compacidade da Bacia do açude João Guerra não é tão próximo de 1, o que indica uma bacia não muito sujeita a enchentes.

Um fator de forma baixo indica que uma bacia é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho porém com maior fator de forma. Isso se deve ao fato de que numa bacia estreita e longa, com baixo k_c, há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão, além de se afastar da condição de bacia circular onde os tributários do curso principal contribuem em um único ponto. O fator de forma para a Bacia do Açude João Guerra é baixo, o que ratifica a tendência do fator de compacidade, bacia não muito sujeita a enchentes. A Figura 8.1 mostra a bacia do Açude João Guerra e sua altimetria.

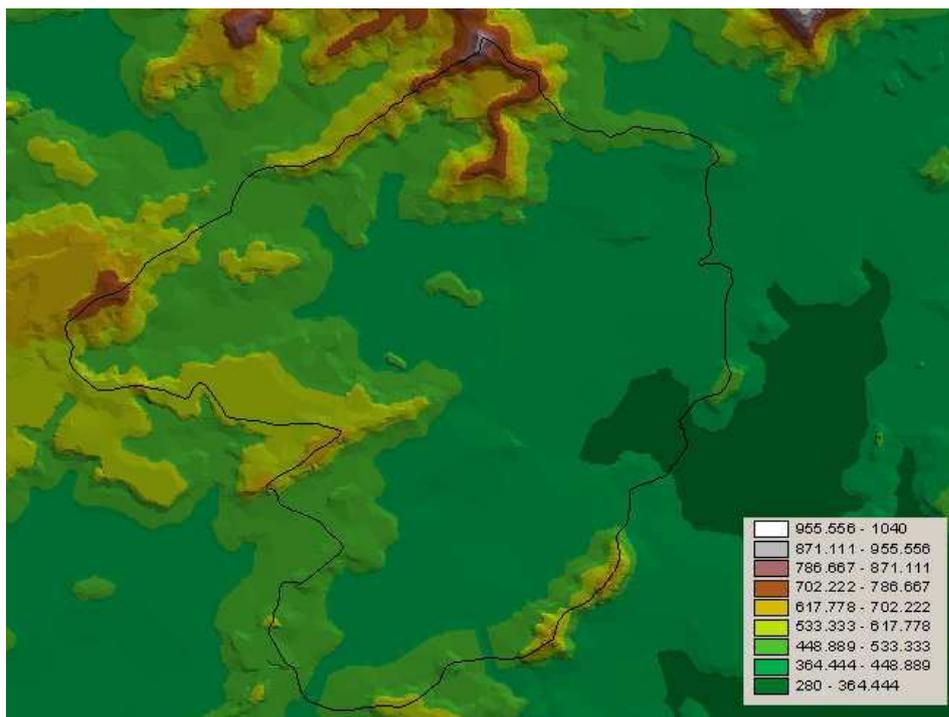


FIGURA 8.1. BACIA DO AÇUDE JOÃO GUERRA

A bacia do Açude João Guerra tem predominantemente solos Re19, NC14 e PE22, respectivamente (Ver Figura 8.2), o que associado com o relevo da bacia resulta em solos com moderada a elevada capacidade de drenagem (Figura 8.3). A vegetação é a Caatinga Arbórea com 52,5% e a Caatinga Arbustiva Densa com 47,5% (Figura 8.4). O principal uso é a agricultura de culturas anuais, temporárias e permanentes (Figura 8.5).

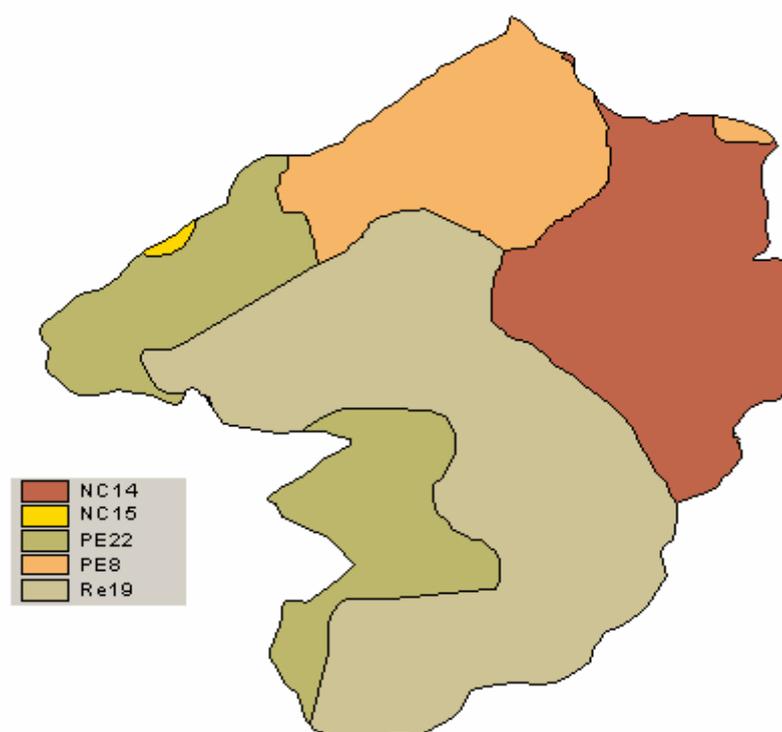


FIGURA 8.2. SOLOS DA BACIA DO AÇUDE JOÃO GUERRA (FONTE: FUNCEME).

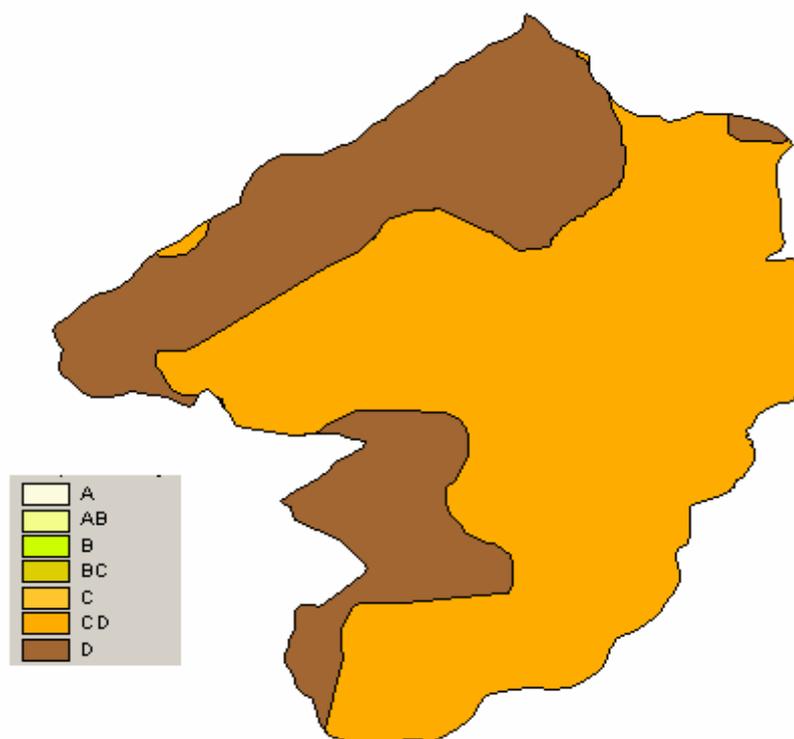


FIGURA 8.3. GRUPOS HIDROLÓGICOS DE SOLOS DA BACIA DO AÇUDE JOÃO GUERRA (FONTE: FUNCEME).

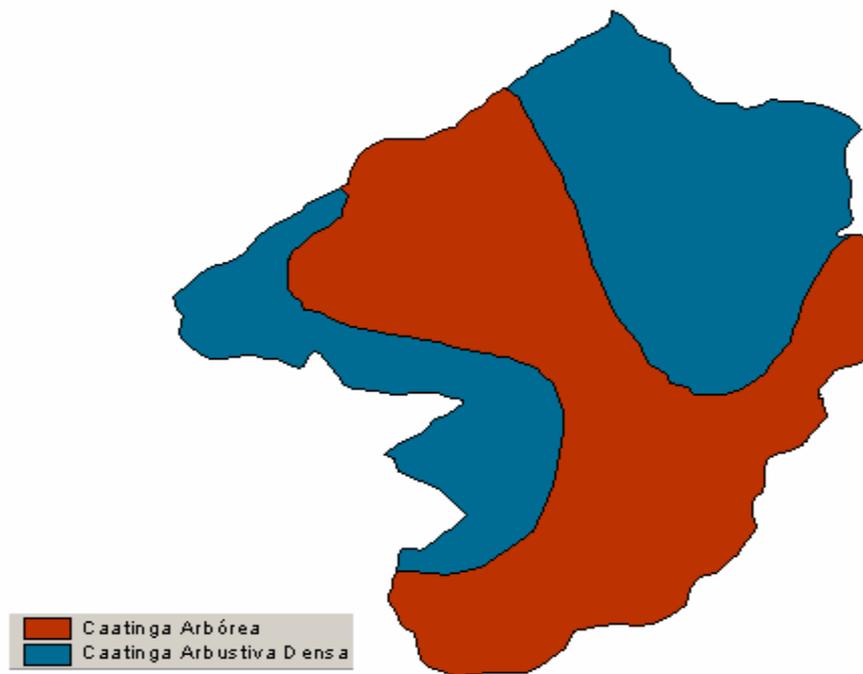


FIGURA 8.4. VEGETAÇÃO DA BACIA DO AÇUDE JOÃO GUERRA (FONTE: FUNCEME).

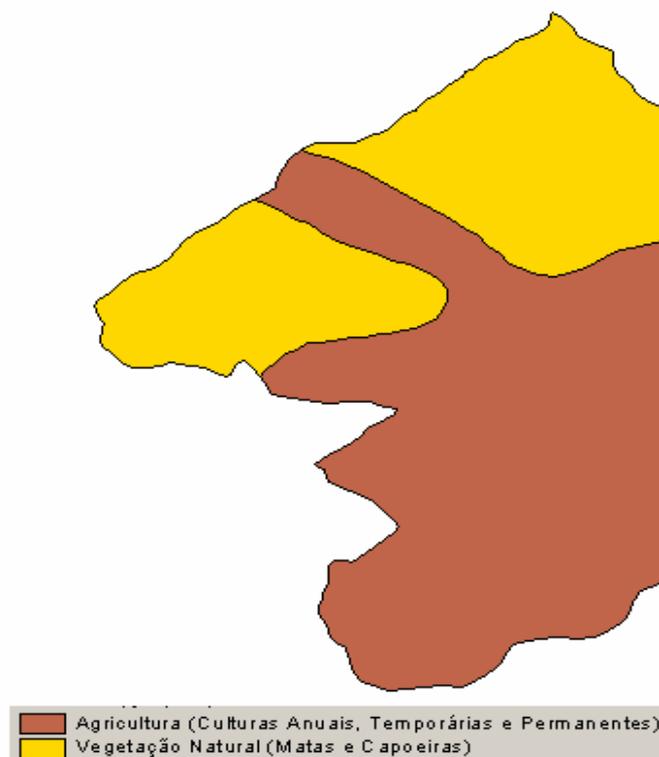


FIGURA 8.5. USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO AÇUDE JOÃO GUERRA (FONTE: FUNCEME).

8.2 – ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

A abordagem da climatologia aqui desenvolvida visa dar subsídios as etapas subsequentes dos estudos realizados na bacia do João Guerra, principalmente àquelas relacionadas ao aproveitamento dos seus recursos hídricos.

A bacia hidrográfica estudada drena uma área de 134,26 km² no local a ser barrado. A referida bacia não tem localizada em seus domínios nenhuma estação hidroclimatológica, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Quixeramobim, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991)².

8.2.1 – Principais Parâmetros

8.2.1.1 – Temperatura

A distribuição temporal das temperaturas diárias mostra pequenas variações para os três pontos discretos de monitoramento (12:00; 18:00 e 24:00 TMG - Tempo Médio de Greenwich), sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes.

A temperatura média compensada é obtida por ponderação entre as temperaturas observadas nas estações meteorológicas T_{12} e T_{24} TMG, T_{MAX} e T_{MIN} do dia, pela seguinte fórmula estabelecida pela OMM (Organização Meteorológica Mundial):

$$T_{comp} = \frac{T_{12} + 2 \cdot T_{24} + T_{MAX} + T_{MIN}}{5}$$

Onde,

T_{comp} – Temperatura média compensada

T_{12} – Temperatura observada às 12:00 TMG

T_{24} – Temperatura observada às 24:00 TMG

²INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

T_{MAX} – Temperatura máxima do dia

T_{MIN} – Temperatura mínima do dia

A temperatura compensada apresenta uma pequena variação de 2,5°C, isso para os meses de julho (25,3°C) e outubro (27,8°C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de outubro e novembro (34,7°C) e Julho (21,2°C), conforme se observa no Quadro 8.1 e Figura 8.6.

QUADRO 8.1 – TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS E COMPENSADAS (°C) NA ESTAÇÃO DE QUIXERAMOBIM													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Máxima	333,3	332,5	331,5	330,8	229,1	330,3	330,9	332,8	334,1	334,7	334,7	334,4	332,5
Comp.	227,7	227,1	226,2	226,3	225,6	225,6	225,3	227,0	227,4	227,8	226,8	226,9	226,6
Mínima	223,6	223,3	223,6	223,0	222,4	221,4	221,2	222,5	222,5	223,1	223,4	223,7	222,8

FONTE: INEMET (1991)³

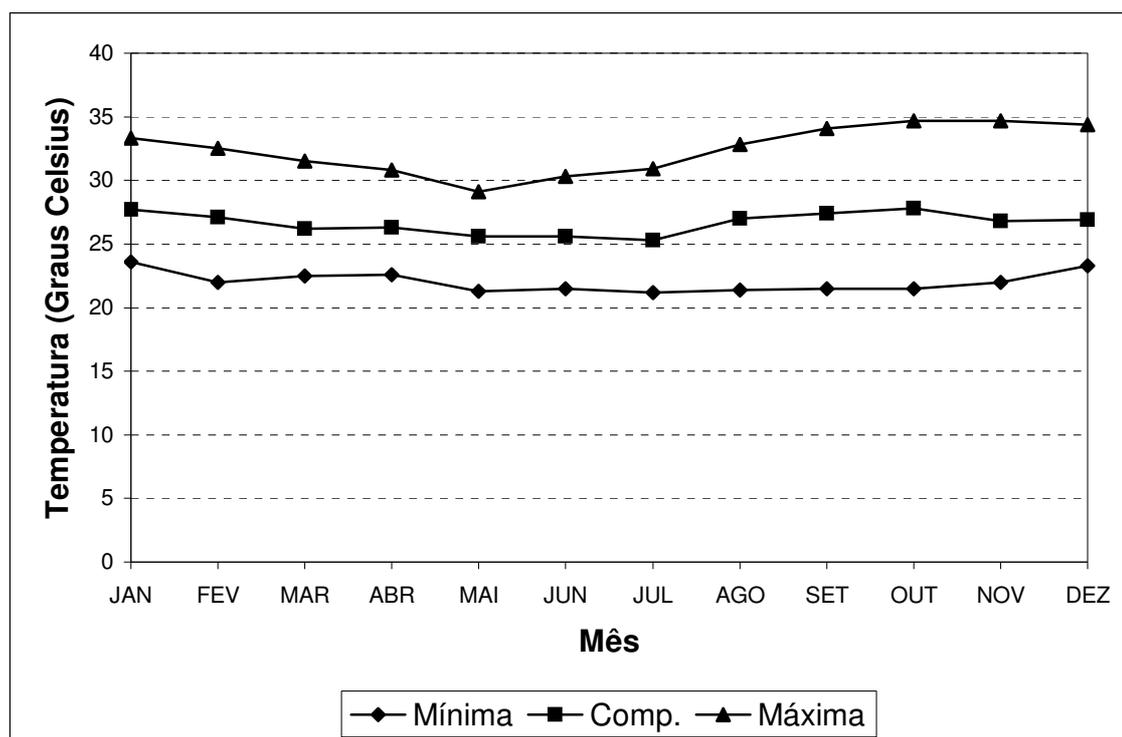


FIGURA 8.6-TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS E MÉDIAS COMPENSADAS NA ESTAÇÃO DE QUIXERAMOBIM

³ INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

8.2.1.2 – Umidade Relativa

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 25% referente aos meses de Abril (80%) e novembro (55%), como se pode verificar no Quadro 8.2 e Figura 8.7.

QUADRO 8.2 - UMIDADE RELATIVA NA ESTAÇÃO DE QUIXERAMOBIM													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
%	59,0	68,0	76,0	80,0	79,0	75,0	65,0	58,0	56,0	58,0	55,0	57,0	65,5

FONTE: INEMET (1991) ⁴

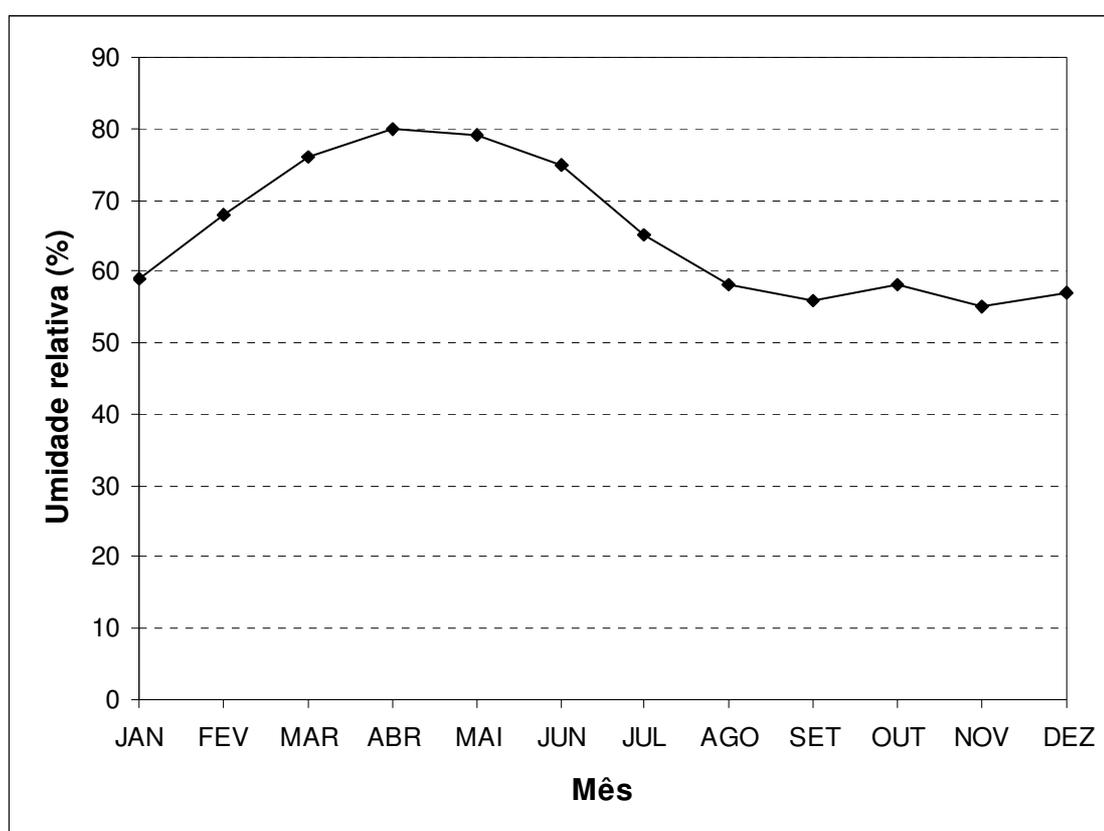


FIGURA 8.7 – UMIDADE RELATIVA NA ESTAÇÃO DE QUIXERAMOBIM

Os índices de umidade medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em conta, entre estes, a pluviometria que se constitui como o principal componente do fenômeno. Assim, considerando-se a

⁴ INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

inexistência de outras estações hidroclimatológicas nas proximidades da área de estudo, a unidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

8.2.1.3 – Insolação Média

O Quadro 8.3 e a Figura 8.8 mostram, respectivamente, o número de horas de exposição no local da estação de Quixeramobim e sua distribuição mensal. Em termos anuais, no mesmo período, tem-se 2761 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 63% dos dias do ano possuem incidência solar direta. O trimestre fevereiro/março/ abril, apresenta, por razões óbvias, os menores valores.

QUADRO 8.3 - INSOLAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE QUIXERAMOBIM													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
horas	218	194	195	178	211	211	242	275	267	272	260	237	2761

FONTE: INEMET (1991) ⁵

⁵ INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

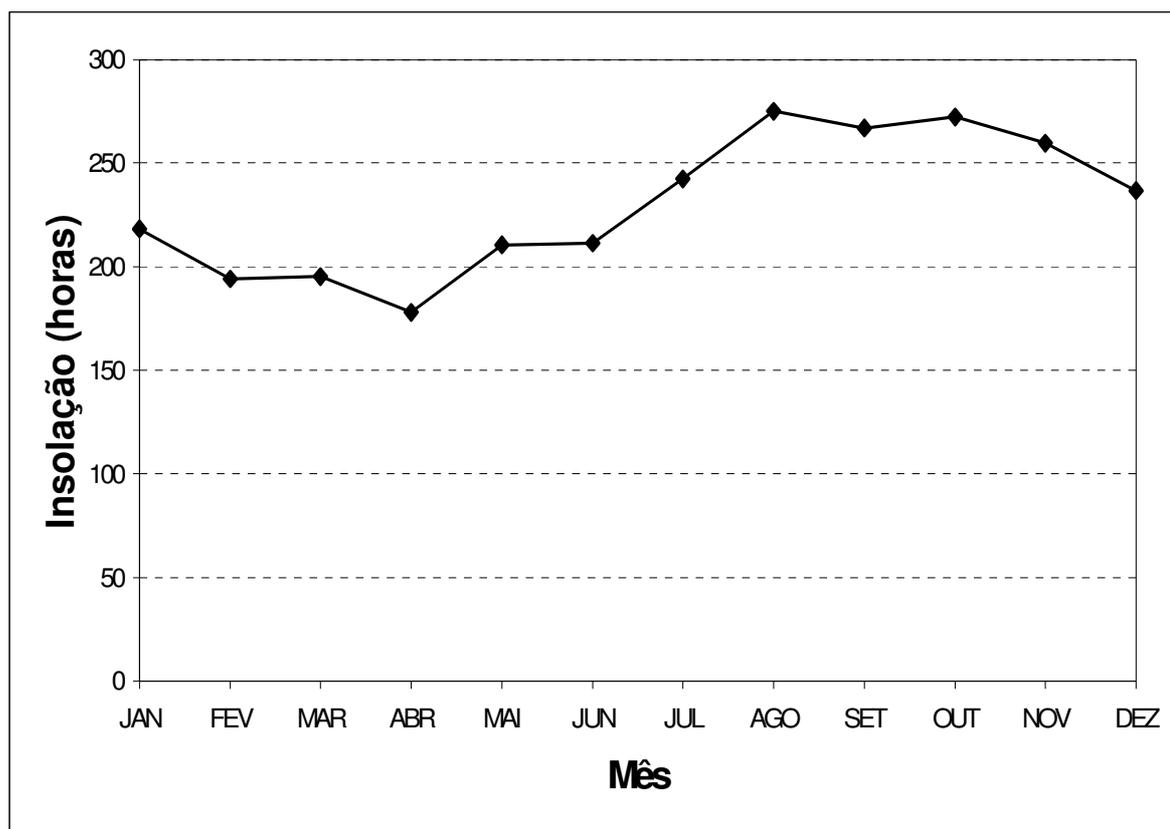


FIGURA 8.8-INSOLAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE QUIXERAMOBIM

8.2.1.4 – Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe “A” é de 2069,5 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o Quadro 8.4 e Figura 8.9.

QUADRO 8.4 – EVAPORAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE QUIXERAMOBIM													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm	189,0	136,9	102,9	81,8	83,6	108,2	149,0	206,8	245,9	282,3	241,3	241,8	2069,5

FONTE: INEMET (1991)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (282,3mm). Deve-se ressaltar, entretanto, que para adotar estes valores como representativos da evaporação em açudes, principalmente pequenos e médios, deve-se multiplicar estes valores por um coeficiente entre a evaporação do açude e a evaporação no Tanque Classe A (K_a). Molle (1989) aconselha os valores mostrados no Quadro 8.5 para K_a , em função da superfície do espelho.

QUADRO 8.5 - K_a EM FUNÇÃO DA SUPERFÍCIE DO ESPELHO D'ÁGUA					
SUPERFÍCIE (ha)	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 30	MÉDIA
K _a	0,95	0,87	0,82	0,75	0,84

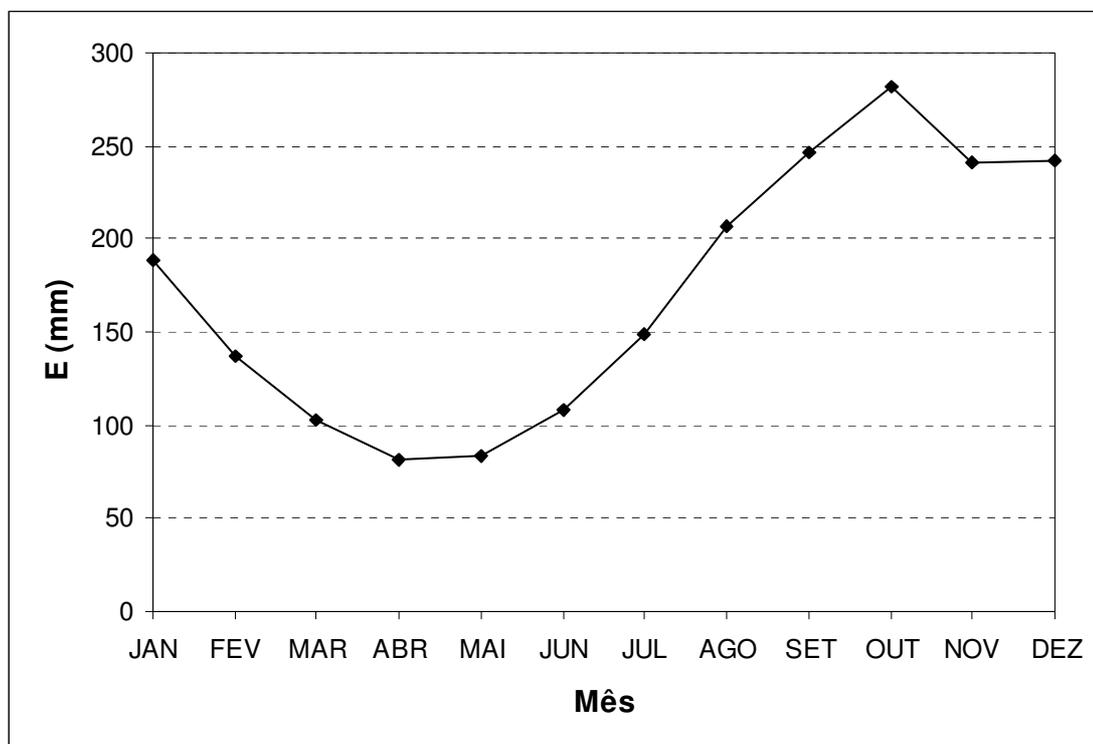


FIGURA 8.9 – EVAPORAÇÃO MÉDIA NA ESTAÇÃO DE QUIXERAMOBIM

8.2.1.5 – Evapotranspiração

Como estimativa da evapotranspiração média, foi utilizada a equação de Hargreaves⁶ mostrada abaixo. Esta fornece a ETP em função da Temperatura média compensada, umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado.

$$ETP = F.(100,0-U)^{1/2}.0,158.(32+1,8T)$$

F - Fator dependente da latitude (adimensional)

⁶HARGREAVES, G.H. 1974, POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS FOR NORTH-EAST OF BRAZIL, UTAH STATE UNIVERSITY.

T - Temperatura média compensada em °C

U - Umidade relativa do ar (%)

QUADRO 8.6 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL CALCULADA SEGUNDO HARGREAVES													
MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm	200,4	158,2	144,8	119,5	114,0	114,1	141,8	175,2	190,3	202,6	199,7	200,9	1961,5

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em outubro (202,6mm). O trimestre abril/maio/junho possui o menor índice de evapotranspiração, ocorrendo o mínimo em abril com 114,0mm.

8.2.2 – Balanço Hídrico

O princípio da conservação da massa de água aplicado a um determinado local ou área (em um dado volume de controle), nos fornece a diferença entre o ganho (precipitação) e o consumo (escoamento superficial e profundo, evaporação ou evapotranspiração). Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather em 1955, e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para um estudo mais apurado.

Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm (PERH, 1990)⁷, obtém-se o Quadro 8.7. Os valores médios mensais de precipitação, evapotranspiração e a diferença entre eles também podem ser observados na Figura 8.10.

QUADRO 8.7 – BALANÇO HÍDRICO SEGUNDO THORNTHWAITE E MATHER									
MÊS	P mm	ETP mm	P-ETP mm	Neg mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	77,8	200,4	-122,6	-1176,6	0,0	0,0	77,8	122,6	0,0
Fev	99,9	158,2	-58,3	-1234,8	0,0	0,0	99,9	58,3	0,0

⁷PERH, 1990. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ.

QUADRO 8.7 – BALANÇO HÍDRICO SEGUNDO THORNTHWAITTE E MATHER									
MÊS	P mm	ETP mm	P-ETP mm	Neg mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Mar	176,4	144,8	31,6	-115,2	31,6	31,6	144,8	0,0	0,0
Abr	195,7	119,5	76,2	7,5	100,0	68,4	119,5	0,0	7,8
Mai	138	114,0	24,0	21,5	100,0	0,0	114,0	0,0	24,0
Jun	75	114,1	-39,1	-39,1	67,6	-32,4	107,4	6,7	0,0
Jul	45,9	141,8	-95,9	-135,0	25,9	-41,7	87,6	54,2	0,0
Ago	10,9	175,2	-164,3	-299,3	5,0	-20,9	31,8	143,4	0,0
Set	4,9	190,3	-185,4	-484,7	0,8	-4,2	9,1	181,2	0,0
Out	2,1	202,6	-200,5	-685,3	0,1	-0,7	2,8	199,9	0,0
Nov	7,3	199,7	-192,4	-877,7	0,0	-0,1	7,4	192,3	0,0
Dez	24,6	200,9	-176,3	-1054,0	0,0	0,0	24,6	176,3	0,0
ANO	858,5	1961,5	-1103,0		331,1	0,0	826,7	1134,9	31,8

(*) ETP calculada pelo método de Hargreaves

A primeira coluna (P) representa os valores da precipitação mensal do posto de Quixeramobim; A coluna da evapotranspiração potencial foi preenchida com os dados calculados no item 8.2.1.5; a coluna NEG (negativo acumulado) representa um hipotético potencial matricial expresso em milímetros de déficit de água para o solo; ETR indica o valor da evapotranspiração real; A coluna DEF representa o déficit de água à planta e a última coluna EXC representa a quantidade de água que ultrapassou a capacidade de retenção máxima do perfil considerado.

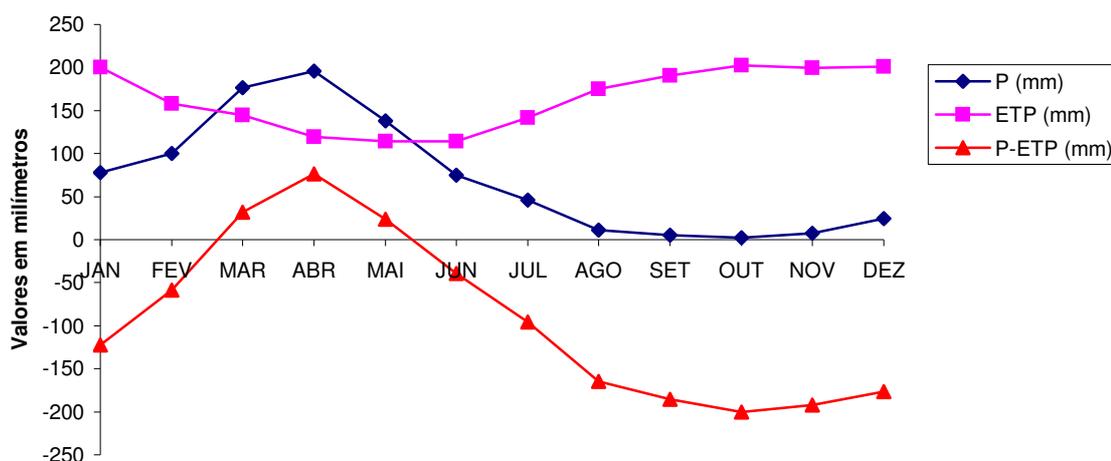


FIGURA 8.10 – BALANÇO HÍDRICO

4.2.3 – Classificação do Clima

4.2.3.1 – Classificação Segundo Köppen

Segundo Köppen existem cinco zonas diferentes de clima na terra, associadas a valores de temperatura e precipitação de acordo com a vegetação.

De acordo com esta classificação, a região do estudo encontra-se classificada como Zona de Climas Secos, tipo B. As chuvas são classificadas como do tipo Bwx', uma vez que a distribuição temporal da precipitação da área abrangem o verão e o outono. O clima, segundo o aspecto térmico, é do tipo muito quente, ou megatérmico.

4.2.3.2 – Classificação Segundo Thornthwaite

Segundo esta classificação, além da característica pluviométrica e térmica, a evapotranspiração potencial é também considerada elemento determinante do clima. Como forma de auxiliar na classificação de tipos e subtipos climáticos, três parâmetros foram introduzidos por Thornthwaite, a saber:

- Índice de aridez:

O índice de aridez vem a ser a deficiência hídrica expressa em porcentagem da evapotranspiração potencial, este índice apresentou o valor 57,85% (Quadro 8.7).

- Índice de umidade:

O índice de umidade é o excesso de água (EXC) expresso em porcentagem da necessidade que é representado pela evapotranspiração potencial (ETP), este índice apresentou um valor de 1,62 (Quadro 8.7).

- Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a -33,09 % (Quadro 8.7).

Com base nestes índices, os dados para a área de estudo, mostram um clima semi-árido; tipo D, com índice efetivo de umidade variando entre -40% e -20%;

clima seco, subtipo S2, com índice de aridez superior a 33%; tipo A', megatérmico e subtipo a', baixa variação estacional (DS2A'a').

8.2.3 – Sinopse Climatológica

Pluviometria Média Anual (sobre a bacia).....	858,5
Evaporação Média Anual.....	2069,5 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves).....	1961,5 mm
Insolação Média Anual.....	2760,7 h
Umidade Relativa Média Anual.....	65,5 %
Temperatura Média Anual: Média das Máximas.....	32,5 °C
Temperatura Média Anual: Média das Médias.....	26,6 °C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas.....	22,8 °C
Classificação Climática.....	DS2A'a'
Classificação climática segundo Köppen.....	BWx'

8.3 – ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

8.3.1 – Dados Utilizados

O posto que foi utilizado neste estudo é o mais próximo da área de interesse, que possui uma bacia hidrográfica com 134,26km², além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo. O Quadro 8.8 mostra o posto pluviométrico utilizado.

QUADRO 8.8 - POSTO UTILIZADO NO PROJETO DA BARRAGEM JOÃO GUERRA					
POSTO	CÓDIGO	PERÍODO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE (m)
ITATIRA	71	1974 - 2003	04°53'	39°62'	450

Fonte: PERH-CE (1990)

8.3.2 – Caracterização do Regime Pluviométrico

8.3.2.1 – Nível Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas Figuras 8.11 e 8.12, que mostram a região central do Estado e onde se encontra a área do estudo, que apresenta média

pluviométrica em torno de 662 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,53.

Uma análise freqüencial foi realizada para o postos de Itatira, sendo testadas várias distribuições e escolhida a Gumbel como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro 8.9 resume esta análise de freqüência.

QUADRO 8.9 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DOS TOTAIS ANUAIS - DISTRIBUIÇÃO GUMBEL							
CÓDIGO	N	PERÍODO DE RETORNO					
		10	50	100	500	1000	10000
71	23	1138,9	1609,8	1808,8	2268,8	2466,6	3123,2

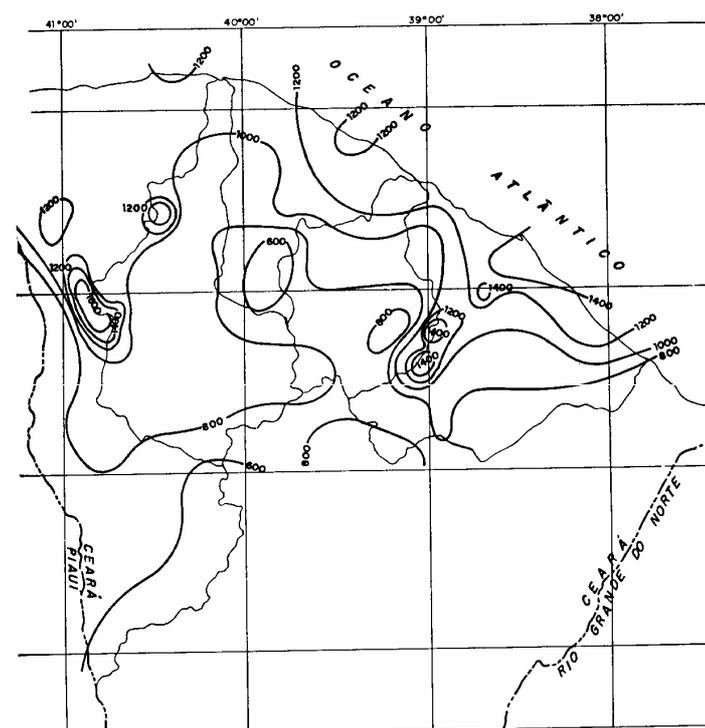


FIGURA 8.11 - ISOIETAS

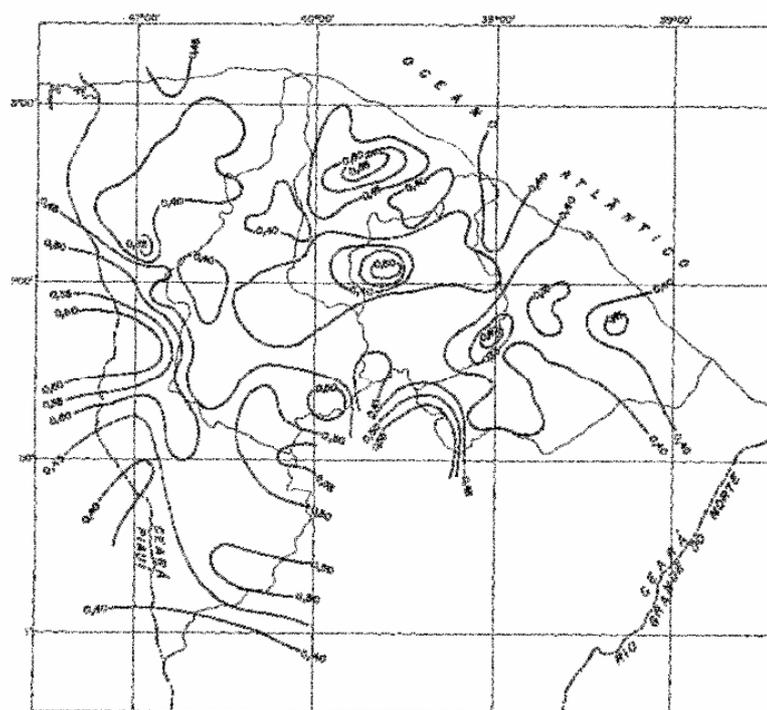


FIGURA 8.12 – ISO-CV'S

8.3.2.2 – Nível Mensal

A análise da distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a cerca de 94% do total anual.

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde se constata que cerca de 65% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano. Neste trimestre o mês de abril corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 26% do total anual.

No Quadro 8.10 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no Quadro 8.11 apresenta-se um resumo da análise de frequência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso no posto considerado. Os períodos de retorno utilizados variam de 10 a 10000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Gumbel.

QUADRO 8.10 - ÍNDICES DE CONCENTRAÇÃO PLUVIOMÉTRICA. SÉRIE DE VALORES MÉDIOS MENSAIS.									
CÓDIGO	MÊS	VALOR	%TOT	TRIMES	VALOR	%	SEM	VALOR	%
71	ABRIL	162,2	25,8	MAM	410,3	65,4	1	588,0	93,7

QUADRO 8.11 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA-NÍVEL MENSAL-DISTRIBUIÇÃO GUMBEL (MÊS MAIS CHUVOSO = ABRIL).							
CÓDIGO	N	Período de Retorno					
		10	50	100	500	1000	10000
71	30	319,3	474,4	540,0	691,5	756,7	972,9

8.3.2.3 – Nível Diário

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico, ou lenta, quando a massa de ar encontra obstáculos topográficos.

A probabilidade de ocorrência de dias chuvosos no período úmido é considerável. Em regiões de influência orográfica a ocorrência de até vinte dias chuvosos no mês não é incomum.

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários.

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Gumbel, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 8.12.

QUADRO 8.12 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA-NÍVEL DIÁRIO-DISTRIBUIÇÃO GUMBEL							
CÓDIGO	N	Período de Retorno					
		10	50	100	500	1000	10000
71	24	114,6	162,0	182,1	228,4	248,3	314,5

8.3.2.4 – Chuvas Intensas

Para projetos de obras hidráulicas em geral é importante a caracterização do regime pluviométrico em intervalos de tempo inferiores a 24 horas. A definição da

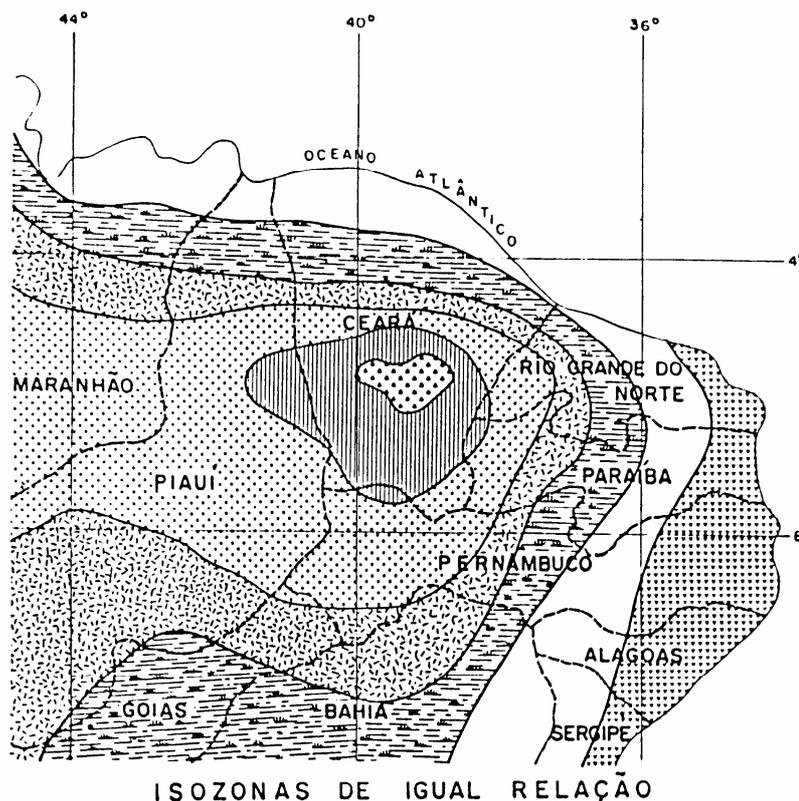
vazão de projeto, por exemplo de canais integrantes da rede de drenagem, obras d'arte, está vinculada a determinação da relação intensidade-duração-freqüência pluviométrica.

Na área em estudo inexistem registros pluviográficos, sendo o aparelho mais comum em estações pluviométricas o pluviômetro, capaz de registrar a “precipitação máxima de 1 dia”. Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade, duração e freqüência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional, tem-se o Método das Isozonas (TORRICO, 1975), que partindo da transformação da chuva de 1 dia em 24 horas, permite estimar valores para intervalos de menor duração.

A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de menores duração consiste nas seguintes etapas de cálculo descritas a seguir:

1. Multiplicar a chuva de um dia por 1,10 para obter-se a chuva pontual de 24 horas;
2. Determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica - isozona F para a área em estudo (Figura 8.13);
3. Estimar, para os diversos períodos de retorno, a chuva de 1 hora de duração a partir da chuva de 24 horas, através da multiplicação pelo fator R_{1h} ;
4. Plotar os valores P_{24h} e P_{1h} em papel probabilístico para obtenção de chuvas de durações intermediárias.



ISOZONA		TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS											
		1 HORA / 24 HORAS CHUVA											
		5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10.000	5-50 24h CHUVA	
B		38,1	37,8	37,4	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
C		40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,0	39,4	37,2	36,2	9,6	9,0
D		42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E		44,0	43,8	43,3	43,2	43,0	42,2	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F		46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,8	12,4
G		47,9	47,4	47,2	47,0	46,0	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H		49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,6	48,3	47,0	46,3	44,8	16,7	14,9

FIGURA 8.13 – MÉTODO DAS ISOZONAS DE TABORGA

O método das isozonas apresenta diferenças bem significativas quando comparado com o método tradicional, conforme mostra Silva, Kern e Henrique (1989), o que sugere que os resultados obtidos pelo método das isozonas sejam observados com certas restrições.

O posto de Itatira (71) foi escolhido uma vez que tem uma boa representatividade do regime de chuvas da região. A Figura 8.14 mostra as curvas intensidade-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno.

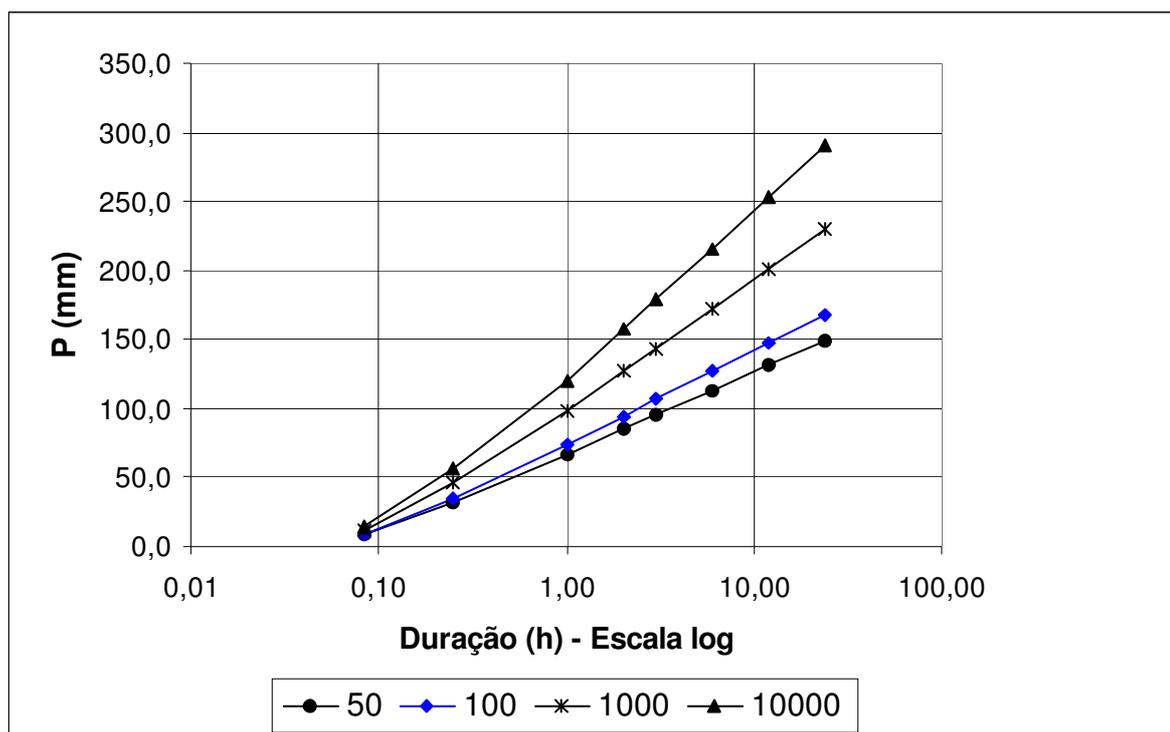


FIGURA 8.14 – CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA

8.4 – ESTUDO DE CHEIAS

8.4.1 – Introdução

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

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

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

Em barragem pequenas, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso. Foram calculadas aqui as cheias de projeto de 1000 e 10000 anos.

8.4.2 – Metodologia

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados pela escassez de dados ou, ainda, sua inexistência. Esta falta de dados dos eventos na bacia a ser estudada indicaram a escolha de métodos de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada.

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto: a escolha da chuva de projeto, o hietograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1.

As relações chuva-deflúvio para a bacia da barragem João Guerra foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta aos hietogramas de projeto correspondentes a 1000 e a 10000 anos (T_r = tempo de retorno).

O modelo HEC-1 permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (overland flow) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso da bacia da Barragem João Guerra ,diante dos dados disponíveis, foi adotado o seguinte:

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

- Método do Hidrograma Triangular como alternativa do cálculo do escoamento superficial na bacia.

8.4.2.1 – Precipitação

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

O hidrograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtida nos estudos hidroclimatológicos, sendo ajustado à área da bacia usando a seguinte equação:

$$P_A = P_0 \cdot (1 - W \cdot \log(\frac{A}{A_0}))$$

Onde W=0,15 (coeficiente regional para zonas áridas e semi-áridas); P_A=Precipitação sobre toda a área; P₀=Chuva pontual; A=134,26km² (área da bacia da Barragem João Guerra); A₀=25km² (área base para chuva pontual), obtendo-se um fator de redução igual a 0,87(1-W.log(A/A₀)). O Quadro 8.13 apresenta a chuva pontual e com a aplicação do fator redutor de área correspondente às curvas i-d-f. A partir das curvas de chuva reduzida, foi obtida a precipitação associada aos tempos de retorno de 1000 e 10000 anos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h.

QUADRO 8.13 - VALORES REDUZIDOS DE CHUVA (MM) DE 24 HORAS. PONTUAL E REDUZIDA								
CHUVA REDUZIDA – ITATIRA (2890078): BACIA DA BARRAGEM JOÃO GUERRA								
Duração	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – TR 1000	12,1	46,3	97,9	126,6	143,3	172,0	200,6	229,3
P(mm) – TR 10000	14,9	56,7	119,9	157,1	178,8	216,0	253,2	290,4

O HEC-1 utiliza estes dados para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tormenta (tormenta balanceada). Alturas

correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos através das equações do HYDRO-35 (National Weather Service, 1977):

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

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

Onde P_n é a precipitação para a duração de n minutos.

8.4.2.2 – Precipitação Efetiva para Aplicação do HEC-1

O modelo utilizado pelo HEC-1 refere-se a interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração como perdas de precipitação, ou seja, a parcela da precipitação que não contribui para gerar escoamento é considerada perda, sendo o restante, considerado precipitação efetiva.

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

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

O método Curva Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente. Para a bacia da barragem

João Guerra foi adotado um CN=85,75 com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

A equação de escoamento do SCS é dada por

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

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

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

$$I_a = 0,20.S \quad (2)$$

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

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

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

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

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

CONDIÇÕES SECAS

CONDIÇÕES ÚMIDAS

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

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

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

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

- A – Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. solos arenosos profundos com pouco silte e argilla.
- B – Solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundo que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.
- C – Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
- D – Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

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

8.4.2.3 – Hidrograma Unitário – SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2.5 e 1000km², e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T_{LAG} . Este parâmetro, T_{LAG} , é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

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

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

Onde T_c =tempo de concentração em minutos; L =comprimento do maior talvegue em km; ΔH =diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. Logo, para a bacia da Barragem João Guerra tem-se:

Seção Barragem João Guerra:

$$L = 21.7 \text{ km} \quad \Delta H = 160 \text{ m} \quad S = 7.37 \text{ m/km}$$

O que resulta $T_c = 4.71 \text{ hs}$; $T_{LAG} = 2.82 \text{ hs}$.

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

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

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

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

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

Onde T_c = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-1 sugere que $\Delta t \leq 0.29 T_{LAG}$. O intervalo escolhido pelo HEC-1 foi de 5 minutos. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia é necessário uma estimativa do tempo de concentração da bacia. Este tempo de concentração foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich.

As Figuras 8.15 e 8.16 apresentam os hietogramas de projeto (precipitação total) e os hidrogramas afluentes a barragem João Guerra obtido através do uso do modelo HEC correspondentes aos tempos de retorno 1000 e 10000 anos, conforme metodologia acima. A vazão de pico do hidrograma foi 1091 m³/s para o período de retorno de 1000 anos, e 1416 m³/s para o período de retorno de 10000 anos.

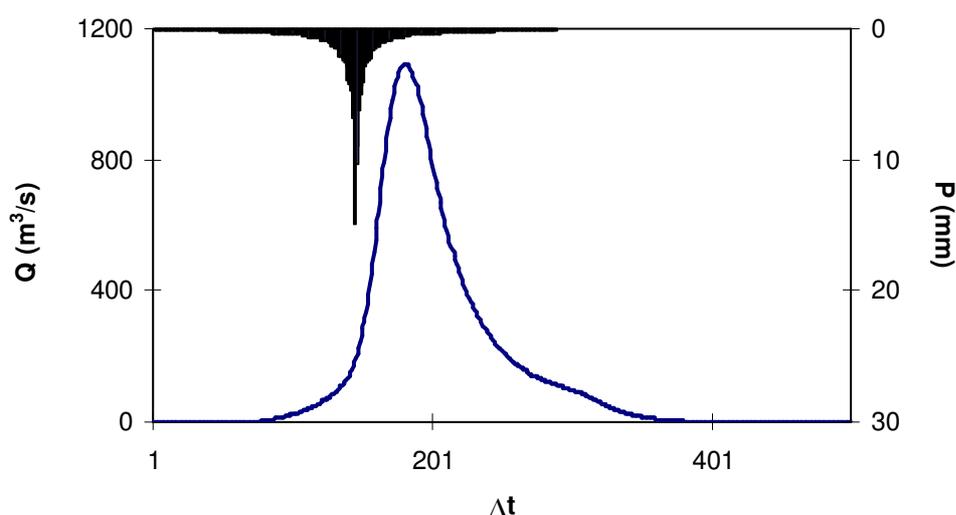


FIGURA 8.15 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE - 134.26 km² (TR = 1000 ANOS)

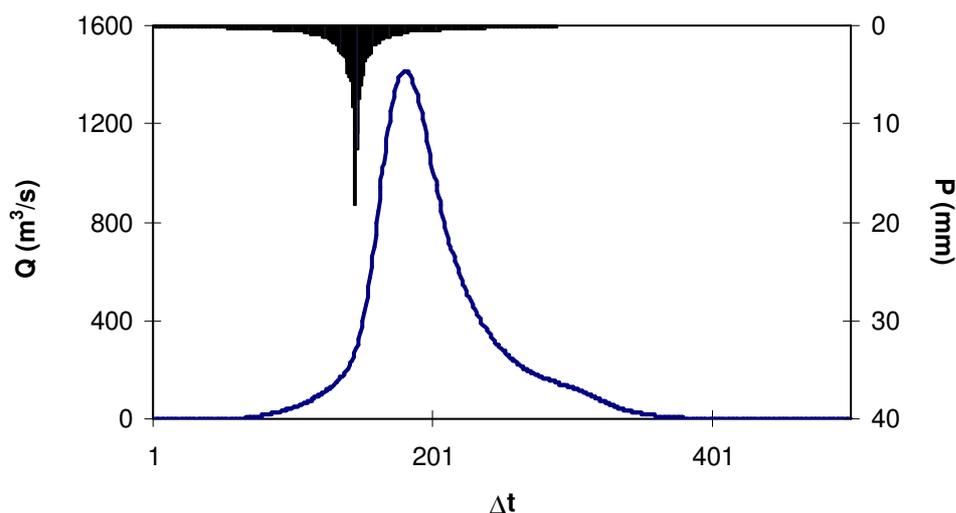


FIGURA 8.16 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE - 134.26 km² (TR = 10000 ANOS)

8.5 – CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

8.5.1 – Introdução

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

Hidrologicamente, os objetivos centrais deste capítulo são:

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

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

8.5.2 – Metodologia

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado dois métodos, a saber: solução direta da equação de balanço hídrico e Diagrama Triangular de Regularização.

8.5.2.1 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

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

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

com

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

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

Onde

Z_t = volume armazenado no início do ano t ;

I_t = volume afluyente ao reservatório durante o ano t ;

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

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

K = capacidade do reservatório;

S_t = volume perdido por sangria durante o ano t .

Representando-se a bacia hidráulica por

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

b) Retirada da reserva, se disponível, de M/L

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

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

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

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

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

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

VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

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

5. Prossegue-se com os passos 3 e 4 até que se complete os 2000 anos da série gerada, totalizando os volumes evaporado, sangrado e liberado;
6. Concluído os 2000 anos, verifica-se se a frequência de falha está entre 9,95 e 10,05 %, ou se o erro em retirada é menor do que 0,5 unidades. Caso afirmativo aceita-se o valor de M, caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1.

8.5.3 – Resultados

A bacia hidrográfica do açude João Guerra não dispõe de dados a partir de uma estação fluviométrica. O Plano de Gestão das Águas da Bacia do Jaguaribe (COGERH), estudou as séries em toda a bacia e sub-bacias do Jaguaribe, inclusive a bacia do açude Fogareiro, a jusante do João Guerra. A série do açude, portanto, foi retirada do referido estudo, fazendo-se uma correlação de área com a série do Fogareiro.

- lâmina média escoada: 51,69 mm

- volume afluente médio escoado anual (\square): 6,94 hm³

- CV = 1.23

- $E_L = 0.80.(141+195+270+322+369+316+316)$

=1534,2mm (Evaporação na estação seca)

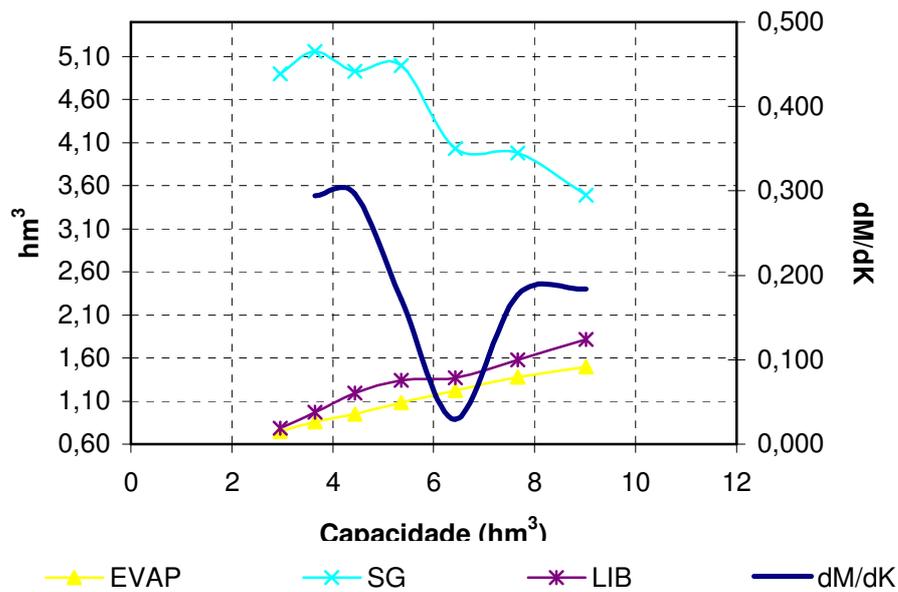
- O fator de forma: $\alpha = 1.546,55$.

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

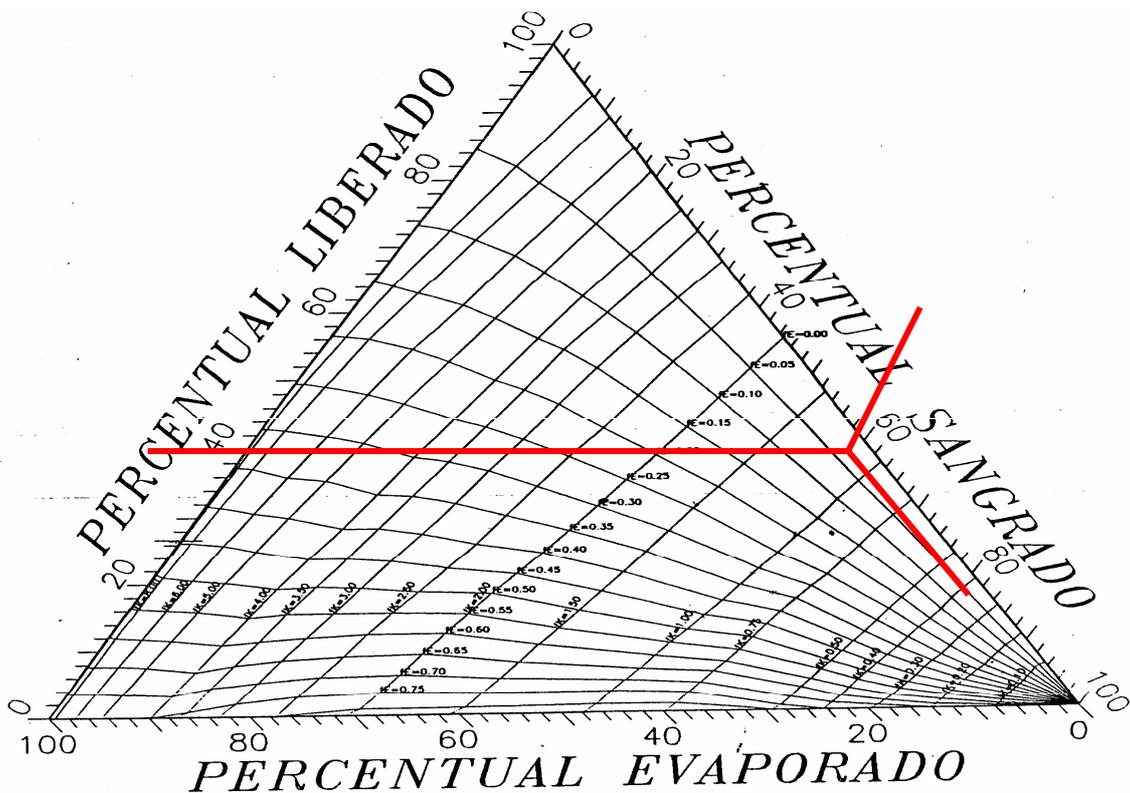
No Quadro 8.14 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_k (fator de capacidade = K/\square) para o açude João Guerra. A Figura 8.17 apresenta as curvas de regulação para o reservatório João Guerra, que nada mais é que a graficação dos valores apresentados no Quadro 8.14.

A análise da Figura 8.17 e dos dados apresentados no Quadro 8.14 sugere que a partir da cota 374 os ganhos na capacidade de regularização pelo aumento do barramento decaem rapidamente. Para esta capacidade o reservatório regulariza 16,9% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, $1,19\text{hm}^3/\text{ano}$, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 40l/s . Esses valores são bastante próximos aos encontrados pelo método do Diagrama Triangular de Regularização, como pode ser observado na Figura 8.18.

QUADRO 8.14 - ESTUDO INCREMENTAL DE CAPACIDADES DO RESERVATÓRIO JOÃO GUERRA											
COTA (m)	K (hm^3)	$f_k=K/ m$	%LIB	LIB (hm^3/ano)	%EV	EV (hm^3/ano)	%SG	SG (hm^3/ano)	dM/dK	Q90 (m^3/s)	M90 (hm^3/ano)
372,00	2,96	0,43	12,20	0,78	11,70	0,75	76,20	4,90		0,026	0,81
373,00	3,65	0,53	13,90	0,97	12,30	0,86	73,80	5,16	0,29	0,032	1,02
374,00	4,44	0,64	16,90	1,19	13,50	0,95	69,70	4,93	0,30	0,040	1,25
375,00	5,35	0,77	18,10	1,34	14,60	1,08	67,30	5,00	0,17	0,045	1,41
376,00	6,43	0,93	20,70	1,37	18,40	1,22	60,80	4,03	0,03	0,046	1,44
377,00	7,66	1,10	22,80	1,58	19,80	1,38	57,40	3,98	0,18	0,053	1,66
378,00	9,02	1,30	26,70	1,81	22,00	1,50	51,30	3,49	0,18	0,060	1,91



**FIGURA 8.17 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO JOÃO GUERRA
RESOLUÇÃO DIRETA DA EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO.**



**FIGURA 8.18 - DIAGRAMA TRIANGULAR DE REGULARIZAÇÃO APLICADO A
BARRAGEM DE JOÃO GUERRA**

8.6 – DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

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

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

Não havia marcas de cheias históricas no local da barragem, o que impossibilitou o uso desta informação.

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

8.6.1 – Propagação da Cheia no Reservatório

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

A equação discretizada da continuidade é dada por

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

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

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

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

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

O vertedouro é do tipo Creager, sendo o seu coeficiente de descarga adotado 2.1, ficando sua equação característica:

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

8.6.2 – Resultados

Uma vez escolhida a dimensão do açude, elaborou-se os estudos de laminação para a cheia de 1.000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10.000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 8.15 para várias alternativas da barragem, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A Figura 8.19 abaixo mostra para o tempo de retorno $Tr=1000$ anos, o hidrograma de projeto, o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório João Guerra. Os resultados para o tempo de retorno de 10000 anos são apresentados na Figura 8.20.

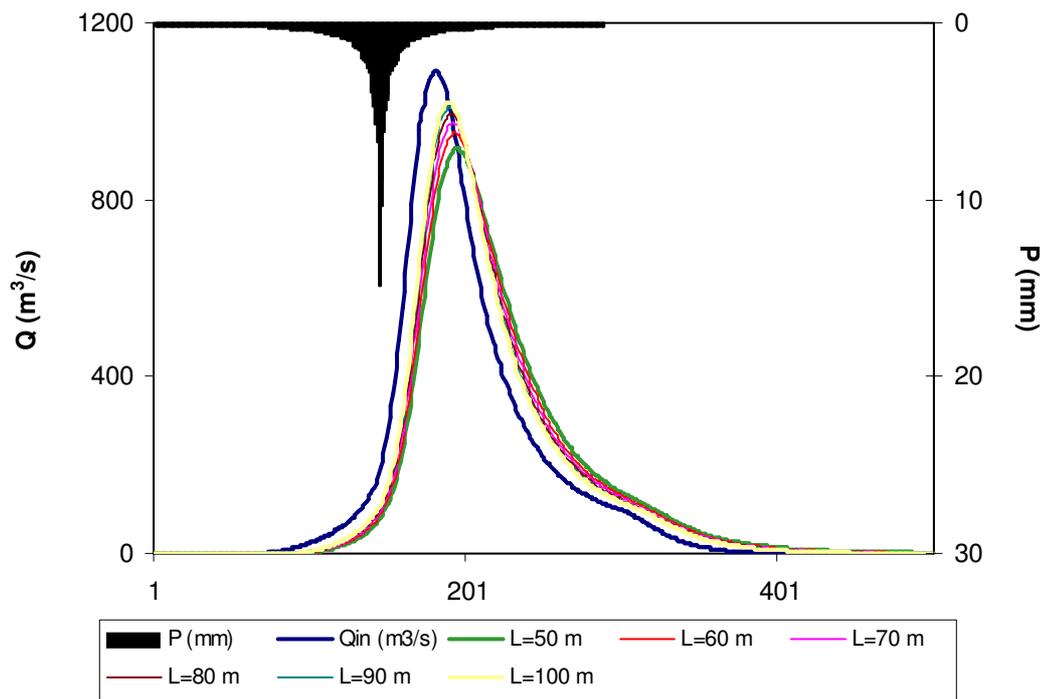


FIGURA 8.19 - HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO JOÃO GUERRA TR=1000 ANOS. PERFIL CREAGER. COTA 374 m.

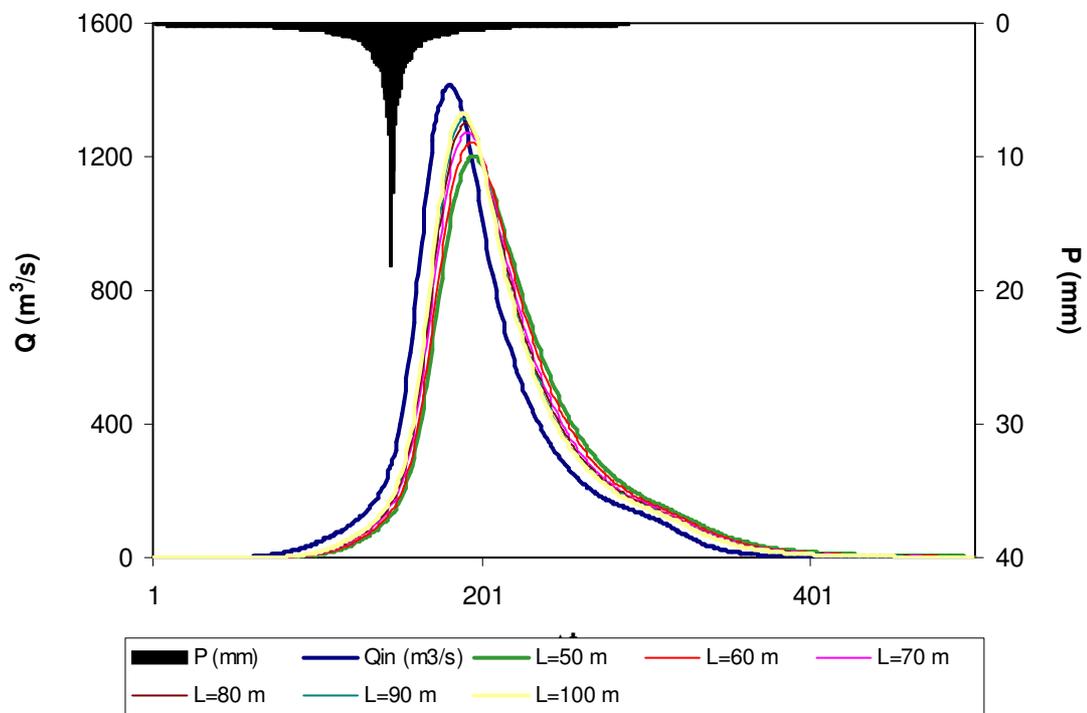


FIGURA 8.20 - HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO JOÃO GUERRA TR=10000 ANOS. PERFIL CREAGER. COTA 374 m.

QUADRO 8.15 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO ACIMA DESCRITA			
LARGURA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{OUT} (m³/s)
Perfil Creager: Z _w = 374 m			
Tr = 1.000 anos - Q _{in} = 1091 m ³ /s			
50	378,20	4,20	915
60	377,80	3,80	950
70	377,50	3,50	974
80	377,30	3,30	993
90	377,10	3,10	1009
100	376,90	2,90	1021
Tr = 10.000 anos - Q _{in} = 1416 m ³ /s			
50	379,10	5,10	1200
60	378,60	4,60	1242
70	378,20	4,20	1274
80	377,90	3,90	1299
90	377,60	3,60	1315
100	377,40	3,40	1330

L = Largura do sangradouro

Z_w = cota da soleira do sangradouro

Q_{in} = Vazão afluyente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (sangradouro)

8.7 – ESTUDOS ADICIONAIS

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

8.7.1 – Probabilidades de Enchimento e Esvaziamento - Equilíbrio

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

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, no equilíbrio, em cerca de 58

% dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 1,25 hm³. A Figura 8.21 apresenta as duas curvas probabilísticas de esvaziamento e enchimento. Nesta Figura pode-se observar que para uma retirada igual a 1,25 hm³/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio próximo de 10 %, o que implica em uma garantia de 90 %.

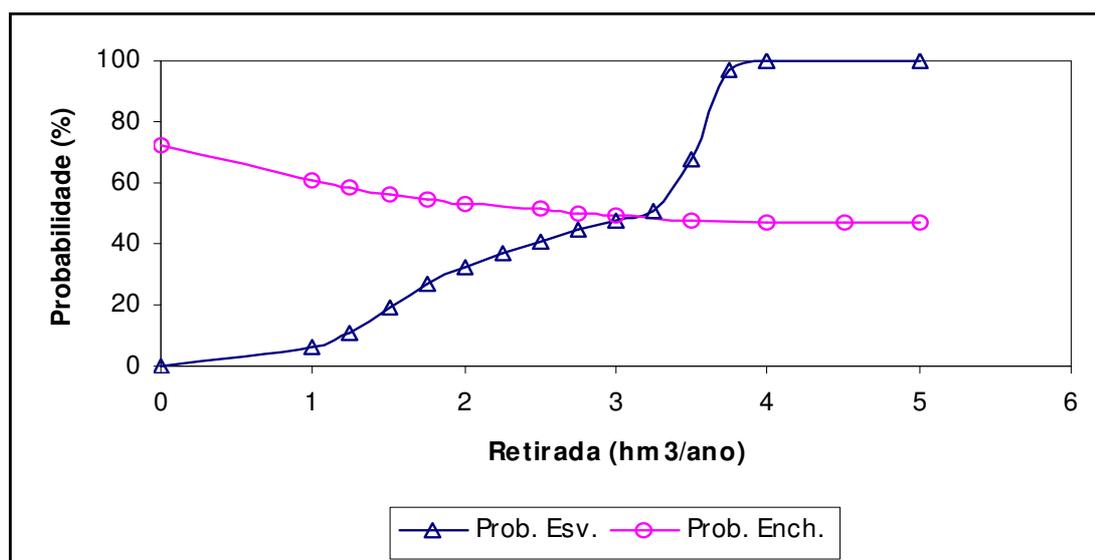


FIGURA 8.21 – PROBABILIDADES DE ESVAZIAMENTO E ENCHIMENTO DO AÇUDE JOÃO GUERRA.

8.7.2 – Assoreamento do Açude João Guerra

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

A composição média dos sedimentos adotada, baseada nos tipos predominantes de solos, foi 3% de Argila, 11% de Silte e 86% de Areia. A partir destas

características e outros dados da bacia (área da bacia, volume afluente médio anual, precipitação média anual da bacia e precipitação do mês mais chuvoso) foram utilizados formulas empíricas para cálculo dos seguintes parâmetros para utilização da metodologia de Veiga (1993) para previsão do assoreamento do reservatório.

Deflúvio anual médio (hm ³) :	6.94	Area=	134.26 km ²		
Composição média dos sedimentos:		Argila	Silte	Areia	% total
		3	11	86	100
Peso específico aparente inicial - gamai (t/m ³):				1.331	
Coeficiente de consolidação médio - K :				0.0266	
Descarga sólida média (t/ano):				12696	
Descarga sólida média específica (t/km ² /ano):				686.3	
Razão de transporte ("delivery ratio") - T				0.199	
Precipitação do mês mais chuvoso (mm):				162.2	
Precipitação média anual (mm):				662	

A estimativa do volume assoreado e, conseqüentemente, do volume efetivo ou útil do reservatório ao longo do tempo é feita através da simulação simplificada da operação do reservatório em intervalos Δt igualmente espaçados durante um tempo suficientemente longo. O açude João Guerra foi simulado durante 100 anos com Δt igual a 10 anos. O Quadro 8.16 apresenta os valores obtidos de acordo com a metodologia de Veiga (1993). A tabela mostra o acompanhamento, a cada intervalo de simulação, das variáveis utilizadas bem como sedimento acumulado e do volume efetivo. Foi assim obtido um volume final ao período de 100 anos de 2,53 hm³, havendo uma redução de 43,02% no volume útil do açude João Guerra, o qual era inicialmente de 4,44 hm³. Deve-se ressaltar, entretanto, que a aplicabilidade desta metodologia ao semi-árido não foi verificada face à inexistência de registros de dados sedimentológicos.

QUADRO 8.16 - SIMULAÇÃO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO AO LONGO DO TEMPO

PERÍODO PARCIAL (ANOS)		Volume inicial (hm ³)	Volume/ μ	Er	γ_T (t/m ³)	Sedimento Período (10 ³ t)	Sedimento Acumulado (hm ³)	Volume Efetivo ou útil (hm ³)
0	10	4,44	0,64	0,96	1,48	285,11	0,19	4,25
10	20	4,25	0,61	0,96	1,49	284,88	0,38	4,06
20	30	4,06	0,58	0,96	1,49	284,62	0,58	3,86
30	40	3,86	0,56	0,96	1,49	284,34	0,77	3,67
40	50	3,67	0,53	0,96	1,49	284,04	0,96	3,48
50	60	3,48	0,50	0,96	1,49	283,70	1,15	3,29
60	70	3,29	0,47	0,96	1,49	283,32	1,34	3,10
70	80	3,10	0,45	0,96	1,49	282,90	1,53	2,91
80	90	2,91	0,42	0,95	1,49	282,43	1,72	2,72
90	100	2,72	0,39	0,95	1,49	281,89	1,91	2,53

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

9. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS

9. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS

Desta campanha de sondagem realizada no boqueirão da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- a) Na ombreira esquerda as sondagens mistas SM-01 e 02 (estacas 6 e 8+10) detectaram uma cobertura de solo com 3,24 e 10,04 m de espessura, respectivamente, e a sondagem percussiva SP-01 (estaca 7) uma espessura de 3,27 m. A constituição predominante deste solo é silto arenosa, micácea, com compactidade de medianamente compacto a muito compacto e permeabilidade máxima de 4×10^{-4}
- b) No leito do rio as sondagens percussivas SP-02, SP-03 e SP-04 indicaram um sedimento de areia fina a média, siltosa com pedregulho, com espessura entre 1,73 e 3,80 m, com compactidade fofa e nível d'água praticamente aflorante. Subjacente a este sedimento encontrou-se um cobrimento de solo residual, classificado como silte arenoso micáceo, medianamente compacta, com espessura entre 0,85 e 1,95 m.
- c) Na faixa compreendida entre a margem direita do rio e a ombreira direita, entre a estaca 11 a 22, a espessura média total do solo é de 5,28m, sendo que, a 25 m a montante da estaca 14 m foi registrado 8 m de espessura. O nível d'água não foi encontrado. Deve-se levar em conta que essa camada de solo é constituída de aluvião e solo residual, este último situa-se entre a aluvião e substrato rochoso e tem espessura média de 2,4 m, por diferença, portanto, a espessura média do solo de aluvião seria 2,88m.
- d) Ainda nessa faixa, entre a estaca 11 a 22, as sondagens rotativas mostraram no substrato uma alternância de gnaisse e biotita-xisto, ocorrendo com elevado grau de alteração e fraturamento na porção mais superficial, melhorando a qualidade à medida que se aprofunda. Há variações grandes no RQD, indo desde zero até 100%. O mergulho das fraturas também oscila muito, ocorrendo fraturas diagonais (45°), verticais (90°), subhorizontais (30°) e sub-verticais (70°), muitas vezes com aberturas, mostrando superfícies

irregulares com marcas de oxidação que indicaram percolação de fluidos. As fraturas ocorrem também algumas vezes, com preenchimento de minerais (biotita, feldspato, clorita, etc.) ou por argila.

- e) Via de regra os ensaios Lugeon foram realizados de forma descendente, com espaçamento de 3 metros na rocha, com inserção de um único obturador. Os resultados obtidos nestes ensaios mostram uma variação na permeabilidade do meio rochoso, com perdas desde zero até valores muito elevados, sendo um fator de preocupação quanto à necessidade de tratamento da fundação através de cortina de injeção de cimento. Na ombreira esquerda os ensaios realizados na sondagem da estaca 8+10 indicaram uma perda d'água máxima de 1,13 l/min/m/atm; na margem direita (junto a calha do rio) os ensaios realizados na sondagem do eixo da estaca 10+15 indicaram uma perda máxima de 5,72 l/min/m/atm, na mesma estaca, porém a 25 m para montante, alcançou o máximo de 4,46 l/min/m/atm e, a 25 m para jusante, o máximo de 1,50 l/min/m/atm. Na faixa entre a margem do rio e a ombreira direita, os ensaios elaborados na sondagem da estaca 14 registraram uma perda máxima de 3,22 l/min/m/atm e na estaca 18, zona de rocha mica-xisto associado a anfíbolito, o máximo de 1,59 l/min/m/atm. Nos ensaios da estaca 21, próximo ao sopé da ombreira direita, registrou-se a perda d'água máxima de 1,18 l/min/m/atm. Na sondagem da ombreira direita, estaca 26, os ensaios não registraram perda d'água.
- f) O comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas apresenta variações, sendo que predominam os casos: “turbulento com fechamento” e de “deformação com abertura”, este último sempre verificado quando os valores de perda foram mais elevados.
- g) Na ombreira direita, entre as estacas 22 a 30m, observou-se a ocorrência de grandes afloramentos de gnaisses migmatíticos entre as estacas 23 e 25. No entanto a única sondagem realizada nesta ombreira, SM-9, revelou uma espessura de solo de 1,45 m sobrejacente a uma rocha biotita-xisto muito macia, decomposta e muito fraturada, no seu primeiro metro superficial, e a

seguir com dureza classificada de medianamente a muito dura, são e pouco fraturada.

Da campanha de sondagem realizada no sangradouro da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- a) A espessura média do solo de recobrimento sobre o topo rochoso foi avaliada em 2,34 m, sendo os valores limites de 0,50 e 6,80 m. No eixo do sangradouro verificou-se que na região das ombreiras o recobrimento de solo é menos espesso, na ordem de 0,50 a 0,90 m, e na região central alcança cerca de 4,60 m.
- b) Da análise geral das oito sondagens rotativas executadas na área do sangradouro percebe-se que a rocha perfurada constituiu-se predominantemente de biotita-xisto, são, dura a muito dura, ou seja, com características mecânicas indicativas de boa qualidade. Há, porém, alguns casos em que a rocha, mesmo com este grau de sanidade, é bastante fraturada, com baixos valores de RQD, o que acarretou inclusive perda total da água de circulação durante a perfuração.

As observações de campo associadas aos exames dos ensaios laboratoriais permitem os seguintes comentários a cerca dos materiais construtivos estudados para a Barragem João Guerra:

- a) As caracterizações realizadas (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04, permitiram enquadrar os materiais estudados nos grupos SC (areia argilosa) e CL (areia siltosa) da “Classificação Unificada USC”, que de modo geral apresentam alta resistência à erosão, de média a alta resistência ao cisalhamento, impermeabilidade e de regular a boa trabalhabilidade.
- b) O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta características apropriadas para tais fins. Caso seja necessária a complementação destes volumes

indicam-se os afloramentos da mesma rocha, na elevação da ombreira direita do sangradouro.

- c) Os bancos de areia dos riachos Treme e Santa Rosa, com permeabilidade média de $4,8 \times 10^{-3}$, são apropriados como fonte de suprimento de agregado miúdo para os concretos e para elemento drenante/ filtrante do sistema de drenagem interna do maciço.

A partir dos estudos hidrológicos elaborados para a barragem João Guerra pode-se fazer as seguintes considerações:

- a) A largura do sangradouro da barragem João Guerra foi definida em função da existência de um trecho de rodovia estadual (CE-366) e uma ponte a serem inundadas, de forma que o volume máximo acumulado não interferisse na estrada, limitando-a em 100 metros para a cota máxima de 377 metros, acumulando um volume de $7,69 \text{ hm}^3$.
- b) Os picos de vazão efluyente e lâminas de sangria são mostrados no Quadro 9.1 a seguir, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

QUADRO 9.1 - VAZÕES E LÂMINAS DE SANGRIA			
TR = 1.000 ANOS		TR = 10.000	
Q(m³/s)	h(m)	Q(m³/s)	h(m)
330	1,88	377	2,02

- c) As vazões regularizadas com 90%,95% e 99% de garantia foram obtidas a partir do uso do modelo HEC-3. Os resultados destas simulações estão sumariados no Quadro 9.2 a seguir. Simulou-se para diversas dimensões possíveis do açude para subsidiar-se os estudos de dimensionamento do reservatório

QUADRO 9.2 - VAZÕES REGULARIZADAS(L/S)		
Q(l/s)	FALHAS	GARANTIA(%)
75	105	90%
57	50	95%
35	11	99%

10. PROJETO

10. PROJETO

10.1. 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.

10.1.1. 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 $2,0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$.

A resistência a penetração foi medida pela determinação do SPT. Os valores encontrados são maiores que 14 golpes.

A fundação da barragem nesse trecho prevê o assentamento dos espaldares sobre o solo após uma escavação obrigatória de 1,0m e o cut-off deve prosseguir até o topo rochoso.

10.1.2. 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.

10.2. 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 ponteiros (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.

10.3. 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.

10.4. 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.

10.5. 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 ϕ 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.

10.6. 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.

10.7. 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.

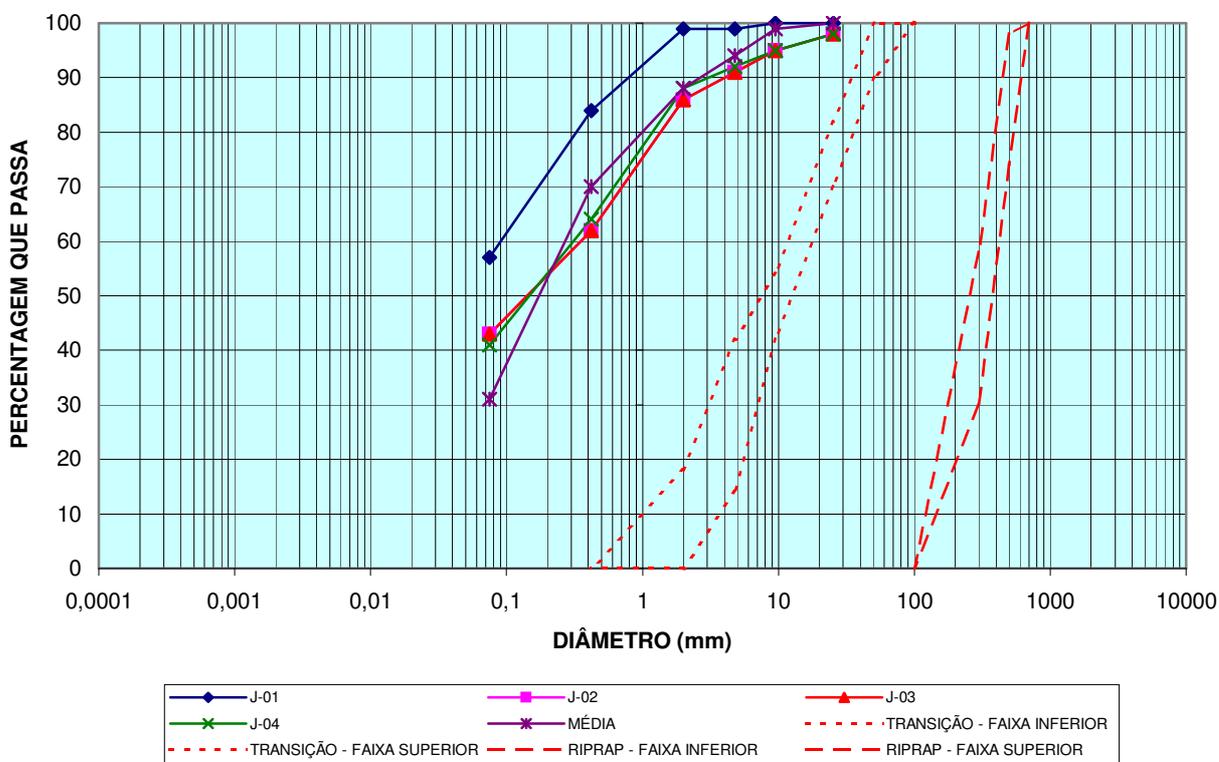
O talude de montante terá inclinação de 1:2,5 (V:H) em toda a sua extensão. O talude de montante será protegido da ação da energia da onda no reservatório com a construção de um rip-rap. O rip-rap será formado por uma camada de 0,70m de espessura de blocos de rocha sã assente sobre uma camada de transição com 0,20m de espessura, formada do produto de britagem.

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

QUADRO Nº10.1: MATERIAL DO ENROCAMENTO DO RIP-RAP	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
700mm	100
600mm	74-98
500mm	4-58
350mm	0

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

CURVA GRANULOMÉTRICA: MACIÇO - TRANSIÇÃO - RIPRAP

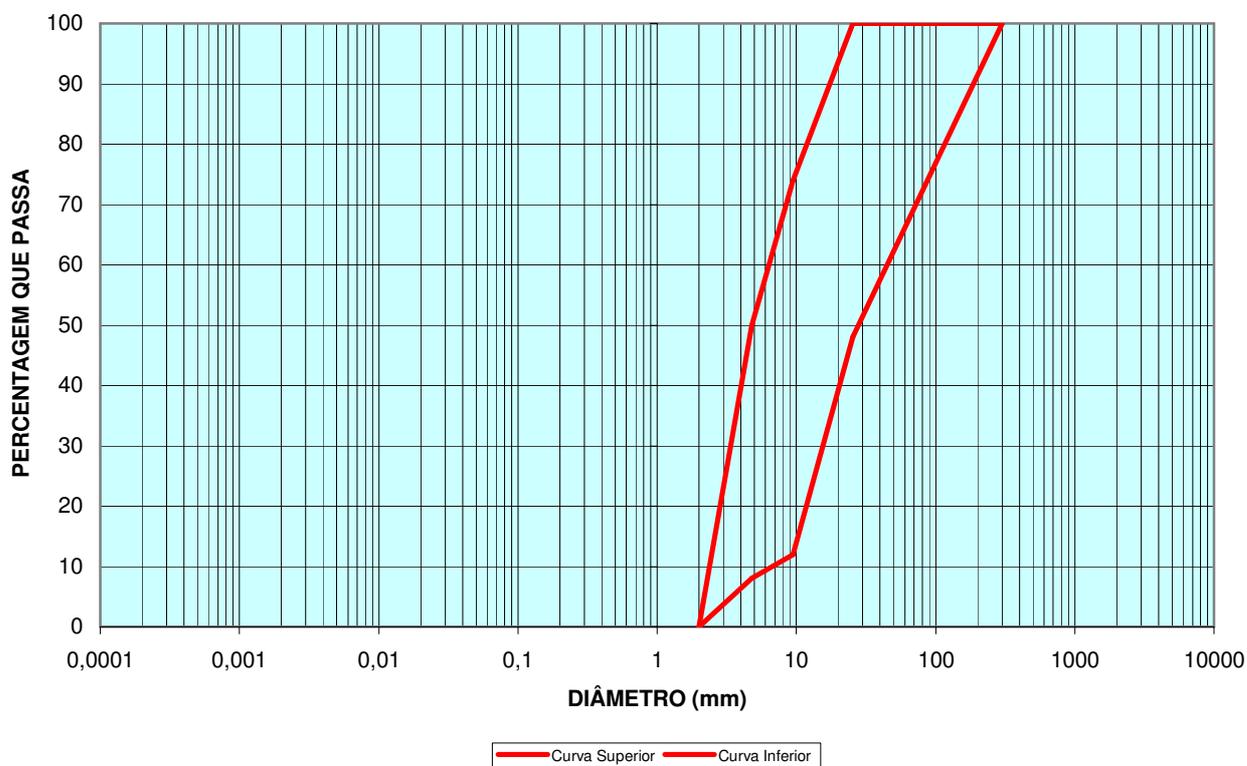


O talude de jusante terá inclinação de 1:2 (V:H) em toda sua extensão. Será colocada uma berma com 2,0m de largura na cota 370,00 m. A proteção do talude de jusante será feita através da construção de uma camada de brita ou cascalho natural com 0,30m de espessura, cuja a granulometria é mostrada no Quadro N°10.3, a seguir:

QUADRO N°10.3: 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°10.2 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:

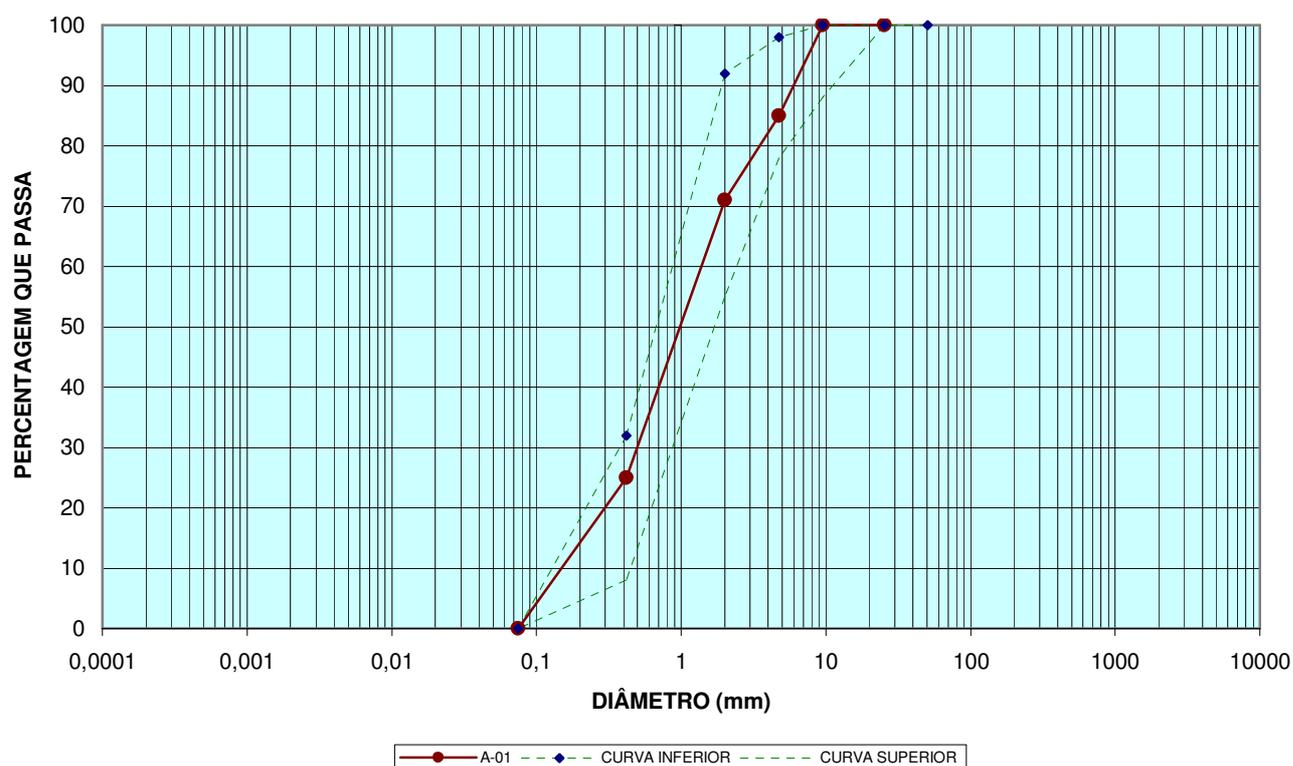
- O filtro vertical inicia na estaca 6 e vai até a estaca 23+6,02;
- O tapete horizontal inicia na estaca 6. Da estaca 6 a estaca 7 o tapete não se estende até o pé de jusante. Da estaca 7 até a estaca 23+6,02 o tapete é pleno.

No Quadro N° 10.4 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 Nº10.4: AREIA GROSSA	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
2" (50,8mm)	100
1" (25,4mm)	100
3/8" (9,5mm)	88-100
Nº4 (4,76mm)	78-98
Nº10 (2,0mm)	55-92
Nº40 (0,42mm)	8-32
Nº200 (0,075mm)	0

No Grafico Nº10.3 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°10.4. A brita da transição do rock-fill, denominada brita “A”, deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro N°10.5, a seguir:

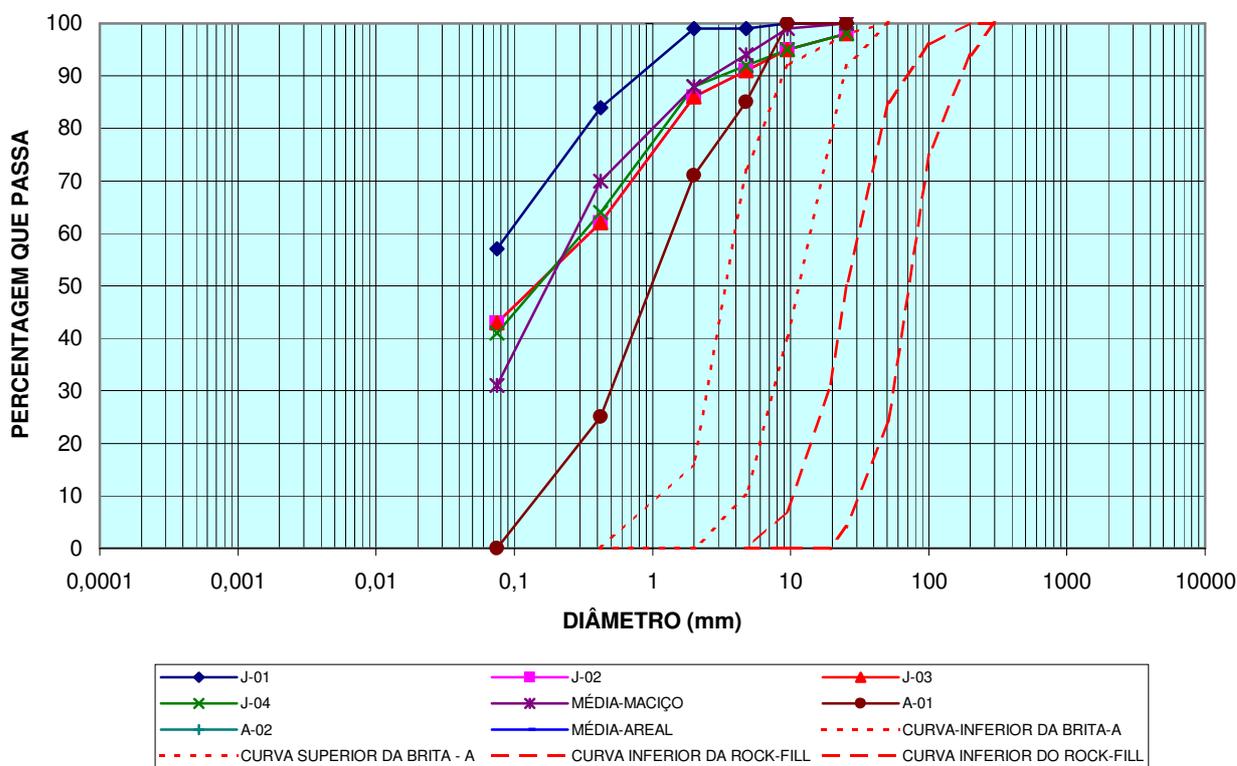
QUADRO N°10.5: BRITA “A”	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
2” (50,8mm)	100
1” (25,4mm)	92-98
3/8” (9,2mm)	40-92
N°4 (4,8mm)	10-72
N°10 (2,0mm)	0-16
N°40 (0,42mm)	0

O enrocamento do rock-fill deverá estar enquadrada na faixa granulométrica apresentada no Quadro N°10.6, a seguir:

QUADRO N°10.6: ENROCAMENTO DO ROCK-FILL	
PENEIRA	FAIXA GRANULOMÉTRICA (PERCENTAGEM QUE PASSA)
300mm	100
200mm	94-100
100mm	75-96
2” (50,8mm)	24-85
1” (25,4mm)	4-50
¾” (19,1mm)	0-30
3/8” (9,5mm)	0-70
N°4 (4,76mm)	0

No Gráfico N°10.4 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.

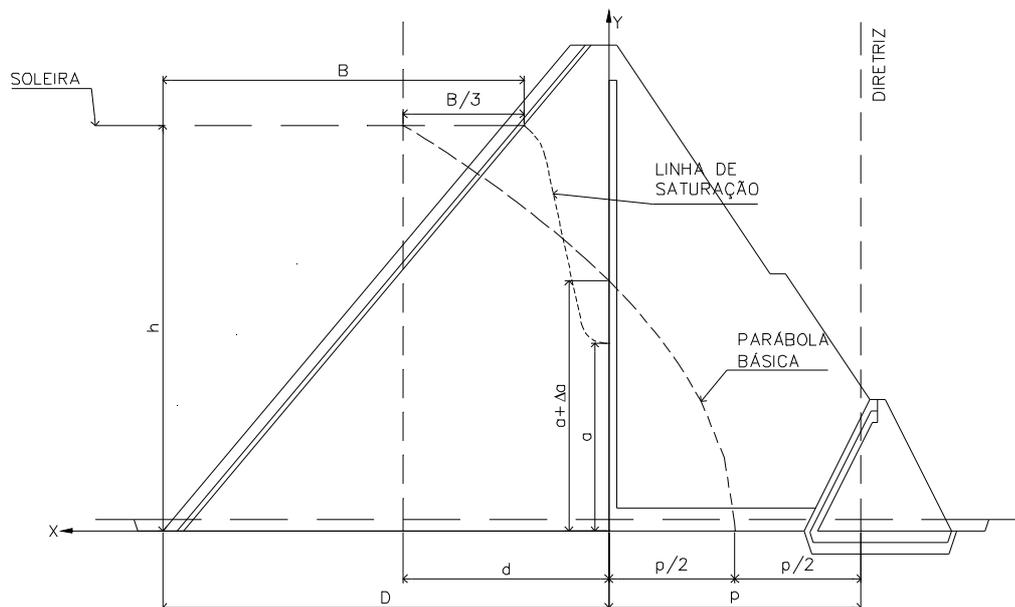
CURVA GRANULOMÉTRICA: MACIÇO/FILTRO-TAPETE/BRITA-A/ ROCK-FILL



10.8.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

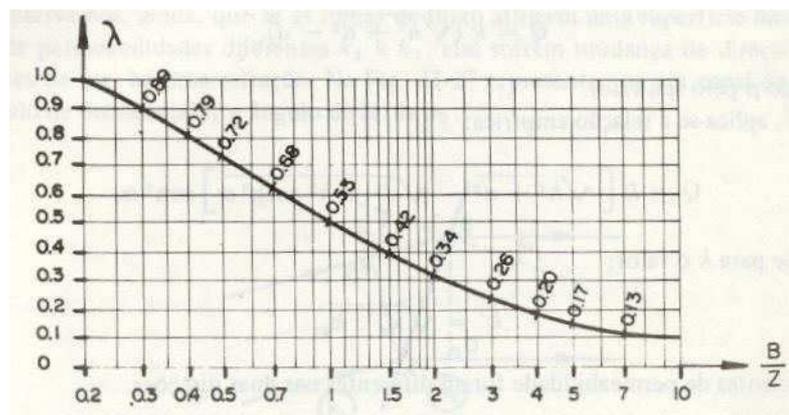
h = Carga hidraulica

λ = Coeficiente dado em função de B / Z

Z = Espessura do maciço permeável

B = Extensão da zona impermeável de montante incluindo o tapete

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

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

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

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

$$\lambda = 0,20$$

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

10.9. 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 nº10.7 mostrado a seguir, indica os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para a análise da estabilidade da barragem.

QUADRO Nº10.7: PARÂMETROS GEOTÉCNICOS				
Material	γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (graus)	R _u
Riprap	18,0	0,00	45°	0,00
Maciço (Espaldar de Montante)	20,6	14,0	32,6°	0,10
Maciço (Espaldar de Jusante)	20,0	6,0	33,4°	0,10
Filtro / Tapete	18,0	0,00	35°	0,00
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00

10.9.1. 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:

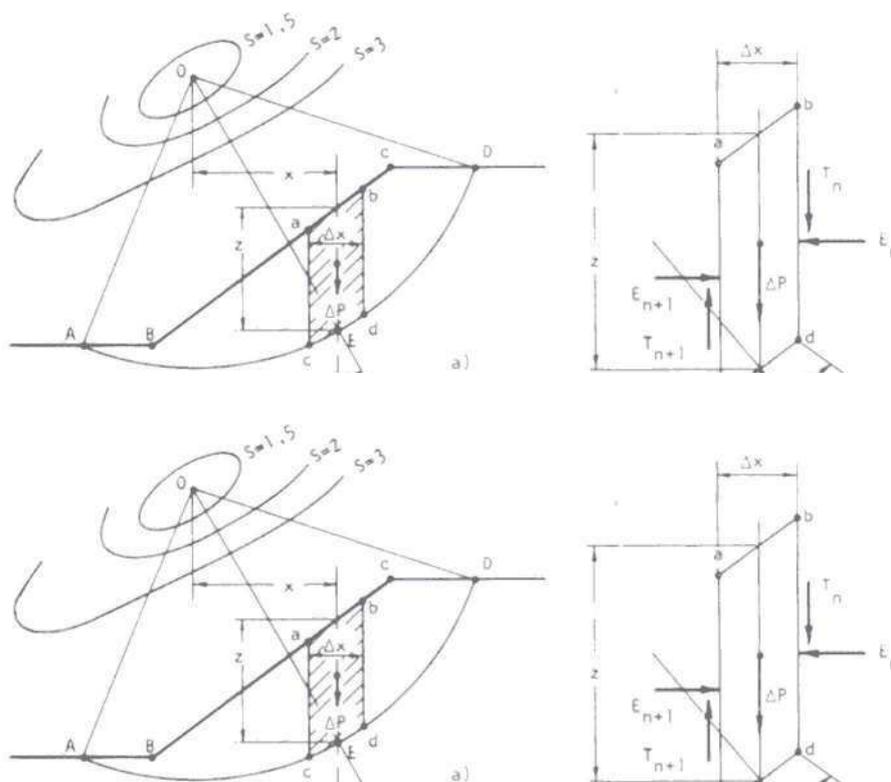
$$S = \frac{1}{\sum \Delta P \operatorname{sen} \alpha} \times \sum \cdot C' \cdot \Delta X + \operatorname{tg} \phi' \cdot \Delta P (1 - \bar{B}) \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\operatorname{tg} \phi' \cdot \operatorname{tg} \alpha}{S_0}}$$

Onde:

C' = coesão efetiva.

ϕ' = ângulo de atrito interno efetivo.

Os demais elementos são mostrados na figura abaixo:



ESTABILIDADE DE TALUDES (MÉTODO DAS FATIAS E DE BISHOP)

10.9.2. 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.

10.9.3. 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.

10.9.4. 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.

10.9.5. 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.

10.9.6. 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.

10.9.7. 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.

10.9.8. 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.

10.9.9. Resolução do Problema

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

10.9.10. 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.

10.9.11. 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 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.

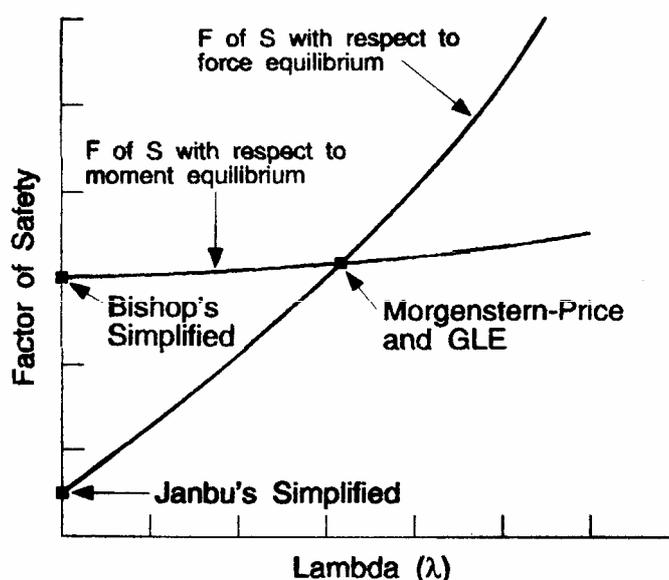


FIGURA Nº 10.1: FATOR DE SEGURANÇA X LAMBDA

Na Figura N:10.1 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 N°10.1 mostra como geralmente a formulação do SLOPE/W possibilita calcular o fator de segurança dos vários métodos.

10.9.12. 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°10.8:

QUADRO N°10.8: 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°10.9:

QUADRO N° 10.9: ANÁLISE DE ESTABILIDADE – ABALO SÍSMICO				
SIMULAÇÃO	C.S. MÍNIMO	SUPERFÍCIE DE DESLIZAMENTO		
		SUPERFICIAL	INTERMEDIÁRIA	PROFUNDA
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,714	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	1,323	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.

10.10. 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 4,4hm³ que corresponde a 100% de capacidade e 0,29hm³ 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.

10.11. 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

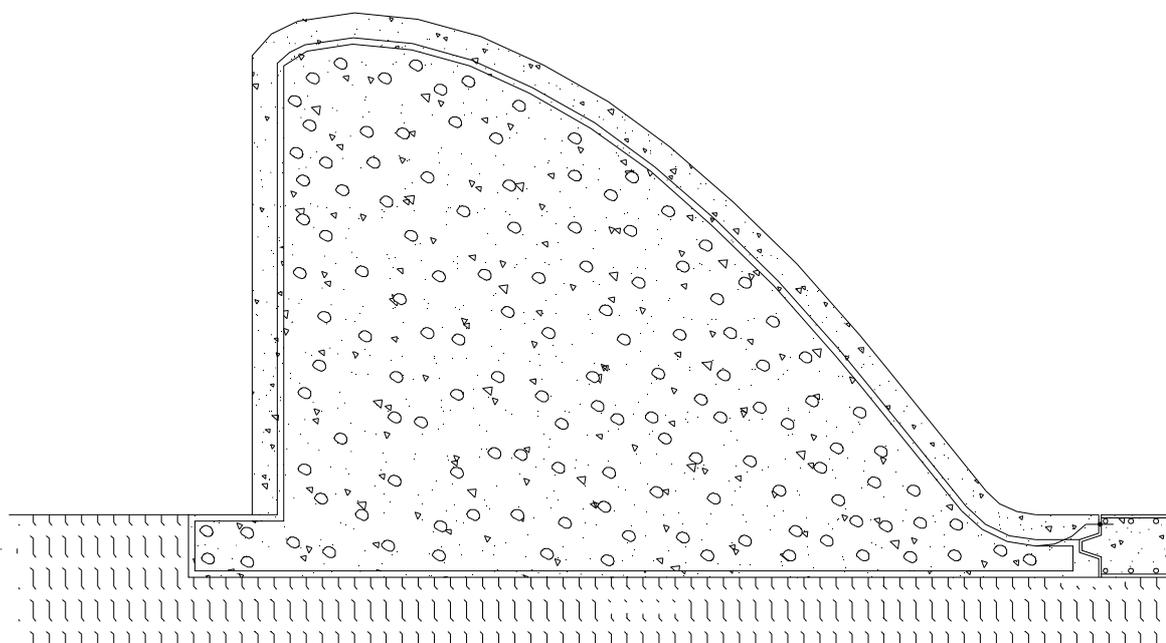
Nessa faixa levantada com cerca de 26,0ha foi desenvolvido o projeto do sangradouro. Dos estudos hidrológicos verificou-se que a largura do sangradouro deverá ter 100,00m. Por esta razão e levando em conta os estudos geotécnicos, que indicaram que o topo rochoso está variando entre as cotas 370,00 e 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 4,40hm³. 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:

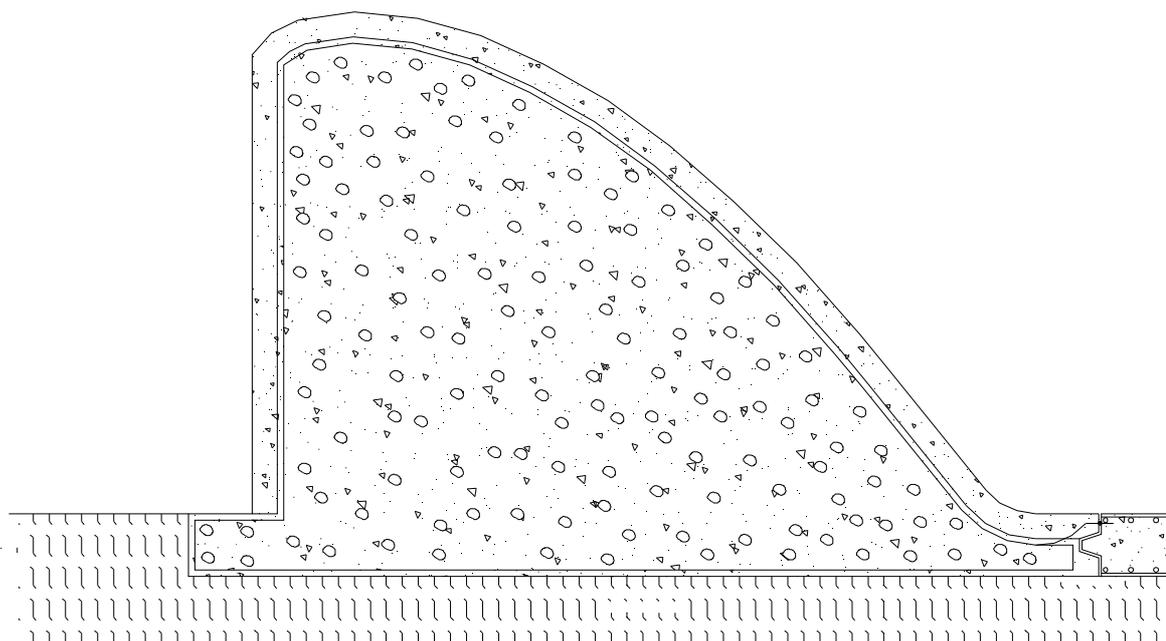
H_0 = Energia total acima da ogiva, incluindo a carga cinética;

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.

10.11.1. 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:

X	Y
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:

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

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

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

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

10.11.2. 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:

$y = 0,09$ (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:

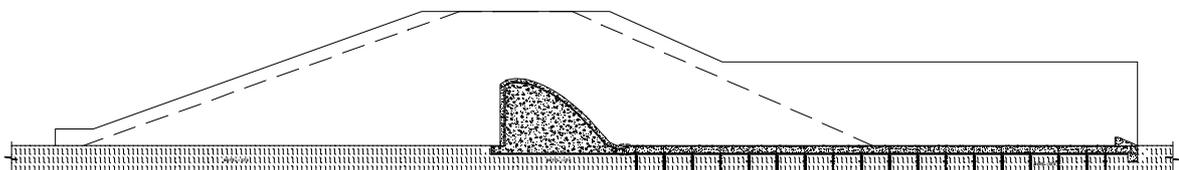
$$y_2 = \frac{y_1}{2} \times \left(\sqrt{1 + 8F_R^2} - 1 \right)$$

$$y_2 = 4,33$$

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: $L_c = 26,00 \text{ m}$.



10.12. APRESENTAÇÃO DO PROJETO

No Volume II são apresentados os desenhos do Projeto da Barragem João Guerra, discriminados no Quadro N°10.10 a seguir:

QUADRO N°10.10: RELAÇÃO DE DESENHOS	
DESENHO N°	DESCRIÇÃO
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

11. EQUIPAMENTO MÍNIMO

11 – EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do Cronograma de implantação prevista no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento indicado nos Quadros N°11.1 e 11.2:

Quadro N°11.1: Relação dos Equipamentos do Laboratório		
Item	Especificação	Quant. Mínima
1	Conjuntos para determinação da densidade de campo pelo método do frasco de areia	3
2	Cilindro biselado para determinação de densidade nos aterros argilosos	6
3	Conjuntos completos para análise granulométrica por peneiramento, por via seca e úmida	2
4	Conjuntos completos para determinação dos Limites de Atterberg	2
5	Conjuntos completos para ensaios de compactação (Proctor Normal)	3
6	Conjuntos completos para ensaios de sedimentação e massa específica real dos solos	10
7	Equipamentos completos (estufas, cápsulas, balanças, bandejas, provetas, etc.), capazes de atender à solicitação do laboratório, para solos, ligantes e misturados	1
8	Conjuntos completos para ensaios de finura e de pega de cimento	1
9	Moldes para corpos de prova cilíndrico de concreto	50
10	Prensa para rompimento de corpos de prova de argamassa de concreto, com capacidade de 100,0 ton	1
11	Acessórios necessários ao preparo de traços de concreto e de argamassa, moldagem e cura de corpos de prova, etc.	1
12	Conjunto completo para ensaio de abatimento em concreto (“Slump test”)	3
13	Conjunto completo para ensaio colorimétrico em areias	2
14	Frasco de Chapman	2
15	Equipamentos complementares necessários ao funcionamento do laboratório nos setores de agregados, cimento e concreto (estufas, balanças, cápsulas, bandejas, etc.)	1

Quadro N°11.2: Equipamento Mínimo		
Item	Descrição	Quant. Mínima
1	Trator de esteira com potência igual ou superior a 270HP	2
2	Trator de esteira com potência igual ou superior a 140HP	2
3	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	2
4	Carregadeira de pneus com potência igual ou superior a 170HP	4

Quadro Nº11.2: Equipamento Mínimo

Item	Descrição	Quant. Mínima
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 ³	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 ³	1
12	Conjunto de britagem com capacidade de 50m ³ /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