



Dezembro de 2002

**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**



SRH Secretaria dos Recursos Hídricos

Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PROGERIRH

Contrato

Nº 02/ PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001

Estudos de Alternativas, EIAS/RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra / Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada

VOLUME III - DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA

Tomo 1 - Relatório Geral do Projeto



MONTGOMERY WATSON





MONTGOMERY WATSON



GOVERNADOR DO ESTADO DO CEARÁ
Benedito Clayton Veras Alcântara

SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS
Hypérides Pereira de Macedo

SUB-SECRETÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS
Ramon Flávio Gomes Rodrigues

COORDENADOR GERAL DOS PROJETOS ESPECIAIS
Francisco Hoilton Rios Araripe

**CONTRATO N.º 002/PROGERIRH - PILOTO/SRH/CE/2001****EQUIPE DE ELABORAÇÃO**

CONSÓRCIO MONTGOMERY WATSON/ENGESOFT	ACOMPANHAMENTO E FISCALIZAÇÃO DA SRH
João F. Vieira Neto Engº. Civil Diretor Técnico Engesoft	Ivoneide Ferreira Damasceno Engª. Civil Presidente da Comissão
William Moler Geólogo Gerente do Contrato	Lucrecia Nogueira de Sousa Geóloga Membro da Comissão
Walmir Fernando Duarte Jardim Engº. Civil Coordenador do Projeto	Thereza Cristina Citó Rêgo Engª. Civil Membro da Comissão
José Ribamar Pinheiro Barbosa Engº. Civil Geotecnia e Barragem	Osvan Menezes de Queiroz Engº. Civil Membro da Comissão
Waldir Barbosa de Souza Rodrigues Engº. Civil Barragem	Maria Alice Guedes Geóloga Membro da Comissão
Alysson César Azevedo da Silva Engº. Civil Estudos Básicos e Topografia	Francisco José de Sousa Engº. Agrônomo Membro da Comissão
José Osmar Coelho Saraiva Engº. Civil Hidráulica e Adutora	Maria Elaine Bianchi Geógrafa Membro da Comissão
Sérgio Pontes Engº. Civil Hidráulica e Adutora	Francisco Dário Silva Feitosa Engº. Agrônomo Membro da Comissão
Naimar Gonçalves Barroso Severiano Economista Meio Ambiente e Reassentamento	Nelson L. de S. Pinto Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Marcos César Feitosa Geólogo Levantamento Cadastral	Paulo Teixeira da Cruz Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Paulo Silas de Sousa Engº. Agrônomo Levantamento Cadastral	Ronei Vieira de Carvalho Consultor do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens da SRH
Hermano Câmara Campos Geólogo Geologia e Geotecnia	
Raimundo Eduardo Silveira Fontenele Economista Avaliação Financeira e Econômica	



MONTGOMERY WATSON



ÍNDICE

**ÍNDICE**

	Páginas
ÍNDICE	3
1. INTRODUÇÃO	7
2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO	10
3. FICHA TÉCNICA	14
4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS	18
4.1. <i>Generalidades</i>	19
4.2. <i>Estudos Cartográficos</i>	19
4.2.1. Transporte de Coordenadas	19
4.2.2. Transporte de Cota.....	20
4.2.3. Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro	20
4.2.3.1. Locação do eixo e implantação de Marcos.....	20
4.2.3.2. Nivelamento	21
4.2.3.3. Levantamento das Seções Transversais.....	21
4.2.4. Levantamento do canal de restituição.....	21
4.2.5. Levantamento da Bacia Hidráulica	22
4.2.6. Levantamento de Jazidas	23
4.2.6.1. Jazidas	23
4.2.6.2. Areal	23
4.2.6.3. Pedreira	23
4.3. <i>Estudos Geológicos</i>	24
4.3.1. Geologia Regional	24
4.3.2. Geologia Local.....	25
4.3.3. Levantamento Geológico de Superfície	26
4.4. <i>Estudos Geotécnicos</i>	28
4.4.1. Investigação no Local do Barramento	28
4.4.1.1. Sondagens Realizadas	28
4.4.1.2. Sondagens a Percussão	29
4.4.1.3. Sondagens Mistas	30
4.4.1.4. Ensaios de Campo	31
4.4.1.5. Comentários.....	32
4.4.2. Investigação do Sangradouro.....	34
4.4.3. Estudo dos Materiais Construtivos	35
4.4.3.1. Jazida de Solos	35
4.4.3.2. Areal	36
4.4.3.3. Pedreira	36
4.4.3.4. Comentários.....	37



4.5. Estudos Hidrológicos.....	40
4.5.1. Introdução.....	40
4.5.2. Ficha Hidrológica e Curvas Cota x Área x Volume.....	40
4.5.3. Caracterização da Bacia Hidrográfica.....	43
4.5.3.1. Sistema de Drenagem e Açudes Existentes	43
4.5.3.2. Solos e Cobertura Vegetal	43
4.5.3.3 Geologia e Geomorfologia	44
4.5.3.4. Determinação do Número CN	44
4.5.4. Caracterização Climática	45
4.5.5. Estudos de Chuvas Intensas	46
4.5.5.1. Chuvas Máximas Diárias.....	46
4.5.5.2. Chuvas Intensas.....	47
4.5.6. Estudo de Deflúvios.....	48
4.5.7. Estudo das Cheias de Projeto.....	48
4.5.7.1. Precipitação	49
4.5.7.2. Precipitação Efetiva.....	50
4.5.7.3. Hidrograma Unitário – SCS	50
4.5.7.4. Propagação da Cheia do Reservatório	50
4.5.8. Resultados.....	51
4.5.9. Dimensionamento do Reservatório.....	52
4.5.9.1. Disponibilidade Hídrica	52
4.5.9.2. Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório	52
4.5.10. Estudos Adicionais	52
5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM.....	54
5.1. Generalidades.....	55
5.2. Relação de Desenhos	56
5.3. Escolha do Eixo Barrável	57
5.4. Escolha do Tipo De Barragem.....	58
5.5. Fundação da Barragem.....	60
5.6. Geometria da Trincheira de Fundação.....	62
5.7. Rebaixamento DO Lençol Freático.....	63
5.8. Maciço da Barragem	64
5.8.1. Descrição da Seção Tipo.....	64
5.9. Análise de Estabilidade.....	70
5.9.1. Considerações Gerais.....	70
5.9.2. Resultados Obtidos	74
5.10. Estudos de Percolação Pela Barragem e Fundação.....	75
5.11. Análise de Recalques	77
5.12. Instrumentação	79



5.13. Sangradouro	80
5.14. Tomada D'água	81
6. CANTEIRO DE OBRA	84
7. CRONOGRAMA FÍSICO	86
8. EQUIPAMENTO MÍNIMO	90
8.1 Relação dos Equipamentos Mínimo	91



MONTGOMERY WATSON



1. INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

O Consórcio Montgomery-Watson/Engesoft e a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE) celebraram o Contrato N° 02/PROGERIRH-PILOTO /CE/SRH 2001, que tem como objetivo o Estudo de Alternativas, EIAs/RIMAs, Levantamentos Cadastrais, Plano de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra, Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada. A ordem de serviço foi emitida em 05 de março de 2001.

O presente trabalho compõe o Volume III – Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Riacho da Serra, integrante da Bacia do rio Jaguaribe, para o abastecimento da população do município de Alto Santo, Ceará, e é formado por sete Tomos, a saber:

Tomo 1 – Relatório Geral do Projeto;

Tomo 2 – Desenhos;

Tomo 3 – Memória de Cálculo;

Tomo 4 – Especificações;

Tomo 5 – Quantitativos e Orçamento;

Tomo 6 – Planos de Operação e Manutenção;

Tomo 7 – Relatório Síntese.

O Tomo 1, aqui apresentado, consiste no Relatório Geral do Projeto Executivo e aborda os seguintes capítulos:

- Localização e Acessos;
- Ficha Técnica;
- Análise dos Estudos Básicos;
- Generalidades;
 - Estudos Cartográficos;



- Estudos Topográficos;
- Estudos Geológicos;
- Estudos Geotécnicos;
- Estudos Hidrológicos;
- Projeto da Barragem;
 - Generalidades;
 - Relação de Desenhos;
 - Escolha do Eixo Barrável;
 - Escolha do Tipo de Barragem;
 - Fundação da Barragem;
 - Geometria da Trincheira de Fundação;
 - Rebaixamento do Lençol Freático;
 - Maciço da Barragem;
 - Análise de Estabilidade;
 - Estudos de Percolação pela Barragem e Fundação;
 - Análise de Recalques;
 - Instrumentação;
 - Sangradouro;
 - Tomada d'Água;
- Canteiro de Obra;
- Cronograma Físico;
- Equipamento Mínimo.



MONTGOMERY WATSON



2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO



2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Barragem Riacho da Serra será formada pelo barramento do rio homônimo, cuja bacia hidrográfica ocupa uma posição noroeste no município de Iracema, no Estado do Ceará. A barragem fechará o boqueirão existente na região denominada Cacimba do Cunha, a 34Km da sede do município de Iracema e a 12Km para Alto Santo. O barramento e o lago do reservatório estão totalmente inclusos no território do município de Iracema.

O município de Iracema situa-se na microrregião da Serra do Pereiro, porção Nordeste do Estado, limitando-se com os municípios Alto Santo, Potiretama, Jaguaribara, Jaguaribe, Pereiro e Ererê.

A Figura 2.1 apresenta a localização do empreendimento a nível estadual e a figura 2.2 no âmbito regional.

Desde Fortaleza, o acesso ao sítio do barramento é feito através da BR-116 até o entroncamento com a rodovia estadual CE-138 e através desta, até a cidade de Alto Santo, percorrendo-se cerca de 234Km. Toma-se, então, a rodovia pavimentada CE-138, em direção a Iracema por 6,0km. O acesso ao local do barramento se faz através de uma estrada carroçável, que parte da CE-138, na qual se segue por cerca de 6,0km até o local do boqueirão, situado junto a Fazenda do Sr. Otacílio Diógenes.



Fonte: Atlas do Ceará - IPLANCE.

FIGURA - 2.1
MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO



MONTGOMERY WATSON



3. FICHA TÉCNICA



3. FICHA TÉCNICA

A ficha técnica da Barragem Riacho da Serra é apresentada a seguir, mostrando as principais características da obra:

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA	
IDENTIFICAÇÃO	
Denominação:	Barragem Riacho da Serra
Estado:	Ceará
Município:	Iracema
Coordenadas Geográficas:	38°19'37, 96"W; 5°33'41, 92"S
Sistema:	Médio Jaguaribe
Rio Barrado:	Riacho da Serra
Proprietário:	Estado do Ceará / SRH
Autor do Projeto:	CONSÓRCIO MONTGOMERY WATSON/ ENGESOFT
Data do Projeto:	Dezembro/2002
BACIA HIDROGRÁFICA	
Área:	173,4 km ²
Precipitação Média Anual:	834 mm
Evaporação Média Anual:	2.235 mm
CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO	
Área da Bacia Hidráulica (Cota 88,00 m):	420,73 ha
Volume Acumulado (Cota 88,00 m):	23,47 hm ³
Volume Afluentes Médio Anual:	25,23 hm ³
Volume do reservatório (Cota 75,50 m):	0,23 hm ³
Volume de Alerta (Cota 80,00 m):	3,03 hm ³
Vazão Regularizada (90%):	0,37 m ³ /s
Volume Afluentes Máx. de Projeto (Tr=1000 anos):	737 m ³ /s
Vazão Máx. de Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):	459 m ³ /s
Volume Afluentes Máx. de Verificação (Tr=10.000 anos):	1071 m ³ /s
Vazão Máx. de Verificação Amortecida	721 m ³ /s

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA**

(TR=10.000 anos):	
Nível D'Água Max. Normal:	88,00 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=1.000 anos):	89,99 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=10.000 anos):	90,60 m

BARRAGEM PRINCIPAL

Tipo:	Terra zoneada
Altura Máxima:	18,71 m
Largura do Coroamento:	6,0 m
Extensão pelo Coroamento:	1.158,11 m
Cota do Coroamento:	92,50 m
Volume de Escavação (Fundação):	64.178,20 m ³
Volume do Maciço (Espaldares e Núcleo):	368.351,80 m ³
Volume de Enrocamento (Rip-Rap e Rock-fill):	40.383,20 m ³
Volume de Transições:	10.872,80 m ³
Volume de Areia (Filtro e Transições):	32.538,29 m ³
Largura Máxima da Base:	91,00 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,5 (h)
Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)

TOMADA D'ÁGUA

Tipo:	Tubo de Aço envolto em Concreto Armado
Número de Condutos:	1 (um)
Diâmetro:	500 mm
Comprimento do Conduto:	93,75 m
Cota da Geratriz Inferior a Montante:	75,25 m
Cota da Geratriz Inferior a Jusante:	75,00 m
Volume de Escavação	1034 m ³
Volume de Concreto Armado:	94,95 m ³
Volume do Concreto de Regularização:	26,82 m ³
Comprimento:	90,0 m
Localização:	Ombreira Esquerda / Estaca 12+10

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA****SANGRADOURO**

Tipo:	Canal Escavado em Rocha
Largura:	120,00 m
Cota de Sangria :	88,00m
Extensão Total do Canal de Restituição:	1 106,50 m
Vazão Máx. Prevista (TR=10.000 anos):	459 m ³ /s
Lâmina Máx. Prevista (TR=1.000 anos):	1,99 m
Lâmina Máx Prevista (TR=10.000 anos):	2,60 m
Borda Livre:	1,90 m
Volume de Escavação em solo	17.109,40 m ³
em rocha	23.724,80 m ³



MONTGOMERY WATSON



4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS



4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS

4.1. GENERALIDADES

Esse capítulo tem a finalidade de expor de forma sintética os resultados de todos os estudos básicos submetidos a análise pela projetista buscando, obter, em cada caso, as informações que serviram de orientação ao desenvolvimento do Projeto capaz de atender aos anseios da Secretaria dos Recursos Hídricos no que tange aos objetivos esperados, ou sejam, uma obra otimizada do ponto de vista econômico e de engenharia de forma que esse equipamento de infraestrutura possa cumprir o papel social esperado.

4.2. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir da carta topográfica da SUDENE, Iracema nº SB-24-X-C-V, sobre as quais foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica da barragem teve sua área calculada em 173,36 km².

4.2.1. 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-2 na estaca 40, no eixo da Barragem Riacho da Serra, a partir do *Datum* SAD-69.

O quadro 4.1 a seguir apresenta as coordenadas UTM e Geográficas dos pontos levantados.

Quadro 4.1 – Marcos Implantados com GPS de Precisão

Ponto	Estaca	Coordenadas UTM (m)		Longitude Geodésica	Latitude Geodésica
		Este	Norte		
Marco M-1	00	574.516,419	9.385.207,289	38°19'37,96074"WGr	5°33'41,92085"S
Marco M-2	40	575.236,492	9.384.854,704	38°19'14,54384"WGr	5°33'53,37570"S



4.2.2. Transporte de Cota

O transporte de cota foi realizado por meio de topografia convencional, tendo sido utilizado para esse trabalho um nível WILD N-1.

Tomou-se como base a RN nº 1897 H do IBGE, situada 27 metros à direita do eixo da CE-138, 5,7 km aquém da igreja matriz de Alto Santo, no sentido Iracema – Alto Santo, com coordenadas N=9.384,7 km e E=579,0 km e cota 100,9295 m.

4.2.3. Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro

O eixo da barragem Riacho da Serra foi locado em um boqueirão com características topográficas muito favoráveis, onde na ombreira esquerda encontra-se uma sela topográfica, com excelentes características para implantação de um sangradouro.

Os levantamentos topográficos do eixo da barragem e sangradouro, foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação, implantação de marcos para futura relocação, nivelamento e levantamento de seções transversais.

4.2.3.1. Locação do eixo e implantação de Marcos

O eixo da barragem, parte da estaca 00 situada na ombreira esquerda, onde foi implantado o marco de concreto M-1 e termina na estaca 61, onde implantou-se o marco M-4. Seguindo o divisor de água, foram locadas duas deflexões à direita, uma na estaca 40(27°30') e outra na estaca 47 (22°20'). Nessas duas estacas foram implantados dois marcos, M-2 e M-3, respectivamente.

O eixo do sangradouro foi locado na ombreira esquerda utilizando o Teodolito Wild T-1, tem como início a estaca *0S* e *final a estaca 12S+3,90*, que coincide com a estaca 00 do eixo da barragem. Apresentou uma deflexão à esquerda, na estaca 4S+18,10m (40°30').

O quadro 4.2 a seguir apresenta a relação dos marcos implantados:



Quadro 4.2 – Relação Geral dos Marcos Implantados

Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
M-1	00	574.517	9.385.207
M-2	40	575.235	9.384.855
M-3	47	575.319	9.384.743
M-4	61	575.492	9.384.547

4.2.3.2. Nivelamento

O levantamento altimétrico da barragem Riacho da Serra foi realizado utilizando-se um nível Wild N-1, onde foram niveladas todas as estacas materializadas do eixo da barragem e sangradouro, gerando o perfil longitudinal do terreno natural no eixo.

4.2.3.3. Levantamento das Seções Transversais

Foram levantadas as seções transversais do eixo da barragem e sangradouro a cada 20 metros. As seções abrangeram uma faixa de domínio com largura de 150 metros à montante e à jusante.

4.2.4. Levantamento do canal de restituição

O canal de restituição da barragem Riacho da Serra, foi levantado planialtimetricamente através de processos topográficos convencionais (teodolito Wild T-1 e nível Wild N-1), constando de: locação, nivelamento e levantamento de seções transversais.

A poligonal do canal de restituição foi locada a partir da estaca 8S do eixo do sangradouro com 1.106,50 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até o Riacho da Serra. A poligonal foi estaqueada de 20 em 20m até a estaca 5 e de 50 em 50m a partir desse ponto. Realizou-se também o levantamento altimétrico da poligonal do canal e suas seções transversais.



4.2.5. Levantamento da Bacia Hidráulica

Para o levantamento da Bacia Hidráulica, foram executados serviços de engenharia cartográfica, compreendendo cobertura aerofotogramétrica colorida na escala 1:15.000, totalizando 55 km² e mapas digitais na escala 1:5.000, da bacia hidráulica que totalizaram 26,0 km².

Os serviços foram desenvolvidos de acordo com as normas de aerolevantamentos vigentes, os quais estão abordados nos seguintes tópicos:

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

Funcionando como rede de apoio básico da Barragem Riacho da Serra foram implantados três vértices e, como apoio suplementar quinze pontos planialtimétricos (HV-01 à HV-15).

Os vértices implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem a RN 1897H e a chegada RN 1897G ambas do IBGE com precisão de em uma distância de 29,1009 km.

Quadro 4.3 – Referencias de Nível Utilizadas no Levantamento da Bacia

Referência	Cota (m)
RN 1897 H	100,9295
RN 1897 G	86,2329

A altimetria foi definida até a cota 96 mais 100 metros, para maior segurança dos dados do projeto, perfazendo um total de 26 Km² de área restituída.



4.2.6. Levantamento de Jazidas

As ocorrências de materiais construtivos para execução da Barragem Riacho da Serra, foram amarradas a partir do eixo barrável, através de uma poligonal locada com utilização de um teodolito Wild-t1. As ocorrências são as seguintes: Jazidas J-1, J-2, J-3 e J-4 de material terroso, Areal e Pedreira.

4.2.6.1. Jazidas

O quadro 4.4 a seguir apresenta a quantidade de furos, a área levantada e a distância de cada jazida, do primeiro furo locado ao eixo barrável.

Quadro 4.4 - Elementos do Levantamento das Jazidas

Local	Quantidade de Furos	Área (ha)	Extensão da Poligonal (m)
Jazida J-1	164	22,73	3.605,00
Jazida J-2	59	10,75	6.145,00
Jazida J-3	35	6,00	3.733,00
Jazida J-4	35	6,00	5.271,00

4.2.6.2. Areal

Para execução do filtro de areia e fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem Riacho da Serra, foram realizadas investigações geotécnicas por meio de poços à pá e picareta, ao longo do areal do rio Figueiredo. Este areal foi locado através de uma poligonal com 3.309,60 metros a partir do furo F-10 da jazida 2. A distância do areal ao eixo barrável é de 9.000,00 m .

4.2.6.3. Pedreira

A pedreira de onde será extraído o material pétreo necessário para a construção da barragem, foi levantada planimetricamente através de uma poligonal, a partir da estaca 47. A distância da pedreira até o eixo da barragem é de 600m.



4.3. ESTUDOS GEOLÓGICOS

4.3.1. Geologia Regional

A descrição da Geologia Regional foi feita com base em pesquisa de trabalhos realizados anteriormente, tendo como fonte o Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado em 1983, e o Projeto Rio Jaguaribe, executado pelo DNPM, em 1979. Foram utilizadas as nomenclaturas adotadas no Projeto Rio Jaguaribe.

O Riacho da Serra, escolhido para a formação da barragem é contribuinte do rio Figueiredo, que é afluente do rio Jaguaribe, fazendo parte da bacia hidrográfica do Jaguaribe, formada por rios intermitentes, onde predomina o padrão de drenagem dendrítica.

A morfologia da área é representada por um extenso pediplano com cotas que variam de 200 a 350m, profundamente entalhado por erosão diferencial sobre migmatitos, gnaisses e granitos, sobressaindo em alguns locais, dessa superfície arrasada, os maciços residuais de gnaisses graníticos e granitóides.

As rochas cristalinas pré-cambrianas ocupam quase toda a área, ocorrendo secundariamente áreas com coberturas sedimentares e rochas filoneanas.

São descritas a seguir as unidades litológicas agrupadas de forma indiferenciada com relação à ordem cronológica: Complexo Caicó; Três unidades mais recentes, pertencentes à era Cenozóica: Vulcanismo Cabugi, Grupo Barreiras Indiviso, Aluviões.

O “trend” regional apresentado pela foliação das rochas cristalinas se dá predominantemente segundo NE-SW. A falha de Jaguaribe, de movimento transcorrente e rejeito destrógiro, é responsável pela estruturação da região. Possui direção NE-SW e sua extensão total é de aproximadamente 250Km.



4.3.2. Geologia Local

A área estudada fica localizada nos Municípios de Iracema e Alto Santo, na localidade de Cacimba do Cunha, no Estado do Ceará.

A geologia local foi definida a partir de interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000, reforçada pela visita de campo em que foram feitos os caminhamentos ao longo dos eixos da barragem e sangradouro e reconhecimento da bacia hidráulica, com utilização de bússola e GPS de mão.

A litologia predominante é formada por rochas cristalinas do Pré-Cambriano, incluídas no Complexo Caicó, onde ocorrem gnaisses migmatíticos, muitas vezes homogeneizados, com estrutura granítica, recortados por veios de quartzo e pegmatitos que formam os diques ácidos filoneanos.

O alinhamento do eixo da barragem se dá mais ou menos segundo NW-SE, e a foliação dominante das rochas que ocorrem na área é orientada segundo NE-SW com mergulhos suaves, predominantemente para SE.

Os depósitos aluvionares se formam ao longo dos principais rios e riachos gerando em alguns locais extensos platôs constituídos por sedimentos silte-areno-argilosos de granulometria fina e cor cinza clara.

A área ocupada pela bacia hidráulica constitui um extenso dobramento anticlinal com caimento para Sul, perceptível nas fotografias aéreas e indicado no Projeto Rio Jaguaribe. Esta feição é recortada em vários locais por fraturas e falhamentos discordantes com a estruturação geral, destacando-se um extenso falhamento preenchido por um dique de diabásio, a aproximadamente 4Km ao sul da barragem, evidenciando a presença do Vulcanismo Cabugi.

O evento estrutural de maior importância, considerado em termos regionais, que é a falha de Jaguaribe, passa a aproximadamente 5Km à NW do eixo da barragem.



4.3.3. Levantamento Geológico de Superfície

O levantamento geológico de superfície foi realizado no campo com o objetivo de identificar as unidades litológicas presentes, definindo seus contatos litológicos.

Ao longo do eixo locado, abrangendo uma faixa de 150m para montante e 150m para jusante foram estudadas as ocorrências e mapeados os principais afloramentos contendo rocha em superfície. Na bacia hidráulica os percursos foram feitos de carro de passeio pelos acessos disponíveis na área, com utilização de GPS de mão para anotação dos pontos visitados. O eixo topográfico locado, que tem orientação geral segundo NW-SE, está estaqueado em campo a cada 20m, sendo esta marcação iniciada a partir da estaca 0S até a estaca 12S+3,90 no trecho escolhido para o sangradouro; a partir deste ponto há uma deflexão iniciando-se, na ombreira esquerda o eixo da barragem, onde a estaca 12S+3,90 do sangradouro coincide com a estaca 0 da barragem, cujo eixo se desenvolve até a estaca 61, na ombreira direita.

A litologia presente no lado esquerdo do rio é representada por rochas gnáissicas, migmatíticas e graníticas, numa distribuição caótica, dificultando bastante a definição de um tipo litológico padrão, havendo muitas vezes uma predominância da textura nebulítica, podendo ser observada a lineação estrutural dos minerais, apresentando uma granulometria fina a grossa, algumas vezes porfirítica formando augens de feldspato, dando aspecto granítico à rocha, que possui cor cinza-clara com tons amarelados de alteração, contendo essencialmente feldspato, biotita, moscovita e quartzo. Nas porções mais gnaissificadas e migmatizadas a foliação passa a variar bastante conforme os dobramentos, sendo muitas vezes impossível defini-la com segurança. Há casos em que percebe-se o neossoma granítico envolvendo porções migmatíticas e resquílios de paleossoma biotítico. São comuns também os veios quartzo-feldspáticos e pegmatíticos preenchendo as fraturas. Na área do sangradouro, entre as estacas 0S e 12S+3,90, a foliação se dá preferencialmente em torno de N170°Az, ou seja a direção se orienta praticamente segundo N-S, com mergulhos sub-verticais a verticais. Essa condição é desfavorável com relação ao fluxo de percolação de



montante para jusante, pois o eixo locado fica posicionado obliquamente ou quase perpendicular à foliação. Entre as estacas 12S+3,90=0 e 13 tem-se a mesma litologia já descrita, sendo que a rocha apresenta-se mais migmatizada com estruturas planares mais definidas, com foliação variando entre N20°Az a N60°Az, ou seja, com direção NE-SW e mergulho suave, entre 20° a 40° para SE. Em toda essa área há uma grande abundância de afloramentos que, pela margem esquerda fazem contato direto com a calha do rio, cujo leito com aproximadamente 7m de largura é preenchido com areia de granulometria média a grossa de cor cinza-clara.

A faixa de aluvião se desenvolve de maneira mais expressiva pela margem direita do rio, formando uma área de topografia plana, com aproximadamente 160m de largura, com solo constituído de silte areno-argiloso de granulometria fina e cor cinza-clara.

Do lado direito do rio, nas áreas de domínio das rochas cristalinas, é marcante a presença de gnaisses com foliação bem definida, mostrando bandeamento, granulação fina a média, cor cinza, ricos em biotita, e a topografia do terreno se desenvolve de forma mais plana do que o verificado pela margem esquerda, com suaves ondulações e maior escassez de afloramentos que ocorrem de forma dispersa. Essas rochas são sempre recortadas por veios pegmatíticos e mantêm a foliação concordante com o “trend” regional segundo NE-SW com mergulhos suaves para SE.

A partir de 248 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual que se dá segundo NE-SW, concentrando-se principalmente entre N60°Az a N70°Az, representando um percentual de 15,32% do total medido e entre N80°Az a N90°Az, representando 14,91%. O mergulho se dá preferencialmente sub-vertical (60° a 80°) para SE.



4.4. ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos da Barragem Riacho da Serra consistiram na realização de prospecções mecânicas de superfície no local do barramento e sangradouro, na realização de ensaios in situ executados nestas prospecções, na investigação nas áreas de ocorrências de materiais construtivos e na realização de ensaios laboratoriais executados a partir de amostras representativas extraídas das ocorrências.

4.4.1. Investigação no Local do Barramento

4.4.1.1. Sondagens Realizadas

As investigações geotécnicas realizadas no local 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 25 prospecções mecânicas, sendo 19 sondagens à percussão e 6 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa). As sondagens mistas, totalizaram 96,65 m, dos quais 20,95 m com emprego de sonda percussiva e 75,70 m com sonda rotativa e as sondagens percussivas alcançaram um total de 60,85 m.

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). Em algumas sondagens percussivas selecionadas foram, também, realizados ensaios de infiltração.



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.

4.4.1.2. 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.

Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 1 3/8" de diâmetros externo e interno, respectivamente.

No quadro 4.5, a seguir, são mostradas as sondagens percussivas, contendo as referências plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

Quadro 4.5: Sondagens Percussivas no Eixo da Barragem Riacho da Serra

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-01	9 (30m para jusante)	-	-	84,275	Rocha aflorante	-	-
SP-02	13+10,00 (30m para jusante)	574.772	9.385.115	74,547	4,38	4	Fofa
SP-03	16+10,00 (30m para jusante)	574.826	9.385.089	74,295	10,05	2	Muito mole
SP-04	21 (30m para jusante)	574.894	9.385.022	74,994	1,30	14	Rija



Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-05	23+10,00	574.939	9.385.000	77,712	0,60	62/25	Muito Compacta
SP-06	27 (30m para jusante)	575.015	9.384.996	75,060	3,23	4	Fofa
SP-07	33 (30m para jusante)	575.123	9.384.944	80,721	0,53	38/18	Dura
SP-08	38 (eixo)	575.199	9.384.873	85,005	1,05	42	Compacta
SP-09	43 (eixo)	575.271	9.384.807	86,705	0,37	45/17	Muito Compacta
SP-10	49+10,00 (eixo)	575.331	9.384.694	83,818	0,38	57/21	Muito compacta
SP-11	9 (30m para jusante)	-	-	81,15	Rocha aflorante	-	-
SP-12	13+10,00 (30m para montante)	575.746	9.385.061	73,302	4,45	2	Fofa
SP-13	16+10,00 (30m para montante)	574.800	9.385.035	74,841	10,88	5	Média
SP-14	21 (30m para montante)	574.881	9.384.995	77,595	0,45	59/25	Muito Compacta
SP-15	27 (30m para montante)	574.989	9.384.943	75,662	0,33	36/13	Muito Compacta
SP-16	33 (30m para montante)	575.096	9.384.890	79,090	1,20	33	Dura
SP-17	19 (eixo)	574.858	9.385.040	74,920	4,70	4	Fofa
SP-18	15 (eixo)	574.786	9.385.075	74,742	8,06	4	Fofa
SP-19	17+10,00 (eixo)	574.831	9.385.053	74,953	8,89	4	Fofa

4.4.1.3. Sondagens Mistas

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa NX de diamante acoplada a um barrilete duplo. A sonda utilizada foi a MARCH-850 e a SS21-SONDEC. Para cada operação do barrilete foram registrados a percentagem



de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

No quadro 4.6, 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 dominante.

Quadro 4.6: Sondagens Mistas no Eixo Da Barragem Riacho da Serra

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Mínimo	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-10	9+2,00	574.644	9.385.144	81,563	0,40	12,11	-	Gnaiss c/ veios pegmatíticos, muito dura, gran fina, maciça
SM-11	13+10,00	574.759	9.385.088	74,648	4,50	13,04	12	Gnaiss muito dura, gran fina, maciça
SM-12	16+10,00	574.813	9.385.062	74,374	10,70	16,30	5	Gnaiss muito dura, gran fina, maciça
SM-13	21	574.894	9.385.022	74,994	2,00	7,55	33	Gnaiss muito dura, gran fina, maciça
SM-14	27	575.002	9.384.970	75,279	1,85	15,40	9	Gnaiss muito dura, gran fina, foliada/macica
SM-15	33	575.110	9.384.917	80,841	1,50	11,30	32	Gnaiss muito dura, gran fina, foliada/macica

4.4.1.4. Ensaio de Campo

Em algumas sondagens percussivas e nas sondagens mistas, trecho em solo, foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso.

Nas sondagens mistas, trecho em rocha, 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.



4.4.1.5 Comentários

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

- a) Na zona da calha do rio, aproximadamente entre estacas 13 e 21 (160m de extensão), ocorre um depósito aluvionar com espessura considerável, atingindo na estaca 16+10,00 um total de 10,7m de profundidade. Este pacote aluvionar se caracteriza por uma camada de silte arenoso com até 3,0m de espessura, seguida de até 1,6 m de areia fina e média pouco siltosa e, em seguida, uma camada de até 5,6m de areia média e grossa com cascalho e um solo residual areno siltoso com cerca de 0,50 m, em contato com o maciço rochoso caracterizado por gnaisse. O nível d'água, na região da calha do rio, foi encontrado nas profundidades limites de 1,36m (estaca 13+10) e 2,25 m (estaca 16+10), entre o final de junho e começo de julho/01.
- b) Os ensaios de penetração SPT indicaram compacidades de pouco compacta a muito compacta para o pacote arenoso da fundação, com exceção dos dois primeiros metros superficiais onde a areia siltosa apresenta-se fofa, com SPT de 2 a 4 golpes. Não foram encontrados materiais argilosos/siltosos de compactidade preocupante em nenhum furo da campanha de sondagem, o menor valor encontrado neste material foi uma única passagem com SPT de 8 golpes.
- c) Com base nos ensaios de infiltração realizados nos furos de sondagem no aluvião da calha do rio, pode-se considerar que a camada silte arenosa possui uma permeabilidade entre 4×10^{-4} e 5×10^{-5} , a areia fina a média de 3×10^{-3} a 5×10^{-4} e a areia média a grossa de 2×10^{-2} a 8×10^{-4} .
- d) As perdas d'água no ensaio Lugeon indicaram, de um modo geral, valores pouco significativos nas ombreiras e médios na calha do rio, onde obteve-se o maior valor de perda d'água específica de 2,88 l/min/m/atm. No



entanto, a análise mais detalhada do ensaio de maior perda indica que este valor foi obtido no primeiro estágio de pressão (pressão mínima) e que a rocha neste trecho apresenta um fraturamento de cerca de 5 fraturas por metro, com mergulho predominante na faixa de 30° a 70°. Para a carga efetiva máxima aplicada neste mesmo furo a perda d'água específica alcançou menos da metade deste valor, 1,14 l/min/m/atm. O comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas foi predominantemente “turbulento com fechamento”, tendo ocorrido também muitos casos de “deformação com fechamento”. Portanto, com base nestes ensaios, é de se prever que o substrato rochoso não deve apresentar valores preocupantes de condutibilidade hidráulica, mesmo na calha do rio.

- e) Na calha do rio subjacente ao pacote aluvionar, constatou-se a presença de uma rocha biotita-gnaiss, com veios pegmatíticos, muito dura com RQD acima de 80%.
- f) Na ombreira esquerda o topo rochoso encontra-se pouco profundo, inclusive aflorando em várias locais, subjacente a um delgado manto de solo residual silto arenoso com fragmentos de rocha. A rocha foi classificada como biotita-gnaiss com veios pegmatíticos, muito dura, com excelente recuperação, mostrando RQD (Rock Quality Designations) de 100%.
- g) Na parte alta da ombreira direita ocorrem também solos residuais, de composição silto arenosa ou silto argilosa, micáceos, com pequena espessura. A rocha subjacente foi classificada como biotita-gnaiss, que até 5,0m de profundidade apresenta-se medianamente alterada, dura, com RQD em média de 60%, e a partir desta profundidade mostra-se muito dura, geralmente sã, com RQD em média acima de 80%.



4.4.2. Investigação do Sangradouro

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 9 furos de sondagens mistas (iniciado por percussiva e prosseguido com sonda rotativa).

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.

No quadro 4.7, 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 dominante.

Quadro 4.7: Sondagens no Sangradouro da Barragem Riacho da Serra

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de Intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus	Rotat.		
SM-01	6 (30m para jusante)	574.390	9.385.222	89,744	8,00	6,00	Gnaisse mod. Dura, gran fino, foliado	Ligeramente Intemperizada
SM-02	6 (eixo)	574.394	9.385.192	88,776	1,60	6,10	Gnaisse mod. Dura, gran fino, foliado c/ veios pegmatito	Medianamente Intemperizada
SM-03	6 (30m para montante)	574.399	9.385.162	87,956	0,65	7,35	Gnaisse macio a mod duro e pegmatito dura maciça	Ligeramente Intemperizada
SM-04	9 (30m para jusante)	574.450	9.385.229	84,274	1,05	8,15	Gnaisse dura, gran fino, foliado a maciço	Ligeramente Intemperizada
SM-05	9 (eixo)	574.453	9.385.199	81,644	2,45	9,05	Gnaisse mod a muito duro e pegmatito dura maciça	Medianamente Intemperizada
SM-06	9 (30 m para montante)	574.457	9.385.169	81,149	0,50	9,50	Gnaisse muito dura, gran fino, maciço	Medianamente Intemperizada



Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de Intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus	Rotat.		
SM-07	13 (30m para jusante)	574.509	9.385.236	76,666	0,80	8,30	Gnaiss mod. dura, gran fino, foliado	Medianamente Intemperizada
SM-08	12 (eixo)	574.513	9.385.206	77,791	1,07	7,93	Gnaiss muito dura, gran fino, maciço c/ veios de pegmatito	Ligeramente Intemperizada
SM-09	12 (30m para montante)	574.516	9.385.196	76,138	1,10	8,00	Gnaiss dura, gran fino, maciço c/ veios de pegmatito	Medianamente a ligeiramente Intemperizada

4.4.3. Estudo dos Materiais Construtivos

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 quatro jazidas de solos, uma pedreira, um areal.

4.4.3.1. Jazida de Solos

As jazidas de solo foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de 50m de lado, cobrindo a área a ser explorada.

A jazida J-01, situada num morrote de encostas íngremes, no lado direito do futuro reservatório, apresenta uma grande área de rocha alterada e fragmentos de rocha de dimensões variadas, com finos areno siltosos, que poderá representar um aterro com nível razoável de permeabilidade. No entanto, sua proximidade com o local do barramento sugere seu emprego, em zonas selecionadas do maciço da barragem, para maior economia do empreendimento.

Para compor as zonas mais impermeáveis do maciço foram necessárias a indicação de três áreas de solos mais plásticos, que ocorrem com pouca



freqüência na região e com espessuras reduzidas. As áreas selecionadas distam até cerca de 6 km para o eixo da barragem.

Os horizontes encontrados nos furos das jazidas foram identificados, classificados tátil visualmente e medidas suas espessuras. Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidos a ensaios geotécnicos.

Além dos ensaios geotécnicos de laboratório; Granulometria por Peneiramento e por Sedimentação, Limite de Liquidez, de Plasticidade, Compactação - Proctor Normal, Peso específico dos Grãos, foram também realizados os ensaios especiais nas ocorrências de solo; Permeabilidade de Carga Variável e Triaxial (tipo Consolidado Drenado - lento).

4.4.3.2. Areal

O areal identificado e estudado para a execução do filtro vertical, dreno horizontal e concretos consta de bancos no leito do rio Figueiredo, a cerca de 9 km de distancia para o eixo, compostos de areia grossa.

Na calha do Riacho da Serra as sondagens mecânicas identificaram depósitos de areia, de textura grossa a média, com espessura de até 3,30 m e excelentes características para o emprego nas obras da barragem. Essa areia será preferencialmente usada nas zonas drenantes da barragem. No entanto, antes de se iniciar as escavações para execução do "cut-off", devem ser executados ensaios de permeabilidade e retiradas amostras (com amostrador Denison) para ensaios de granulometria

Foram coletadas amostras do areal do rio Figueiredo para a realização de ensaios de Granulometria por Peneiramento e Permeabilidade com carga constante.

4.4.3.3. Pedreira

A pedreira escolhida situa-se a 600 m a jusante da ombreira direita da barragem e tem como finalidade complementar os volumes que serão aproveitados das escavações obrigatórias do sangradouro.



Foram coletadas amostras da pedreira para a realização do ensaio de desgaste por Abrasão “Los Angeles”.

No quadro 4.8, a seguir, são mostrados as características geotécnicas das ocorrências e os informativos de área, volume, proprietário e distância ao eixo do barramento.

Quadro 4.8: Resumo das Ocorrências

Elementos Principais	Jazida J-01	Jazida J-02	Jazida J-03	Jazida J-04	Areal A-02	Pedreira P-01
Proprietário (*)	Carlos Wagner Silveira Gomes / José Cavalcante de Oliveira	-	-	-	-	Otacílio Diógenes
Área Estudada (m ²)	2.459,96	1.164,03	69.305	67.664	50.000	-
Nº Poços Executados	164	59	35	35	16	-
Esp. Média dos Expurgos (m)	0,10	0,10	0,10	0,10	-	-
Esp. Média de Volume Utilizável (m)	0,72	0,60	0,37	0,42	0,94	-
Volume dos Expurgos (m ³)	24.596,90	11.640,30	6.930,50	6.766,40	-	-
Volume do Material Utilizável (m ³)	177.097,88	69.841,80	25.642,85	28.418,88	47.000,00	-
Distância do Eixo da Barragem (m)	3.605,00	6.145,00	3.733,00	5.271,00	9.000,0	600,00
Classificação USC	SM/SC/SM-SC	SC /SM	SC/SM	SC/SM	SP	-

(*) Baseado na poligonal de desapropriação. A jazida 01 não está contida integralmente na área a ser desapropriada. As jazidas 02, 03 e 04 não estão contidas nesta área.

4.4.3.4. Comentários

As observações de campo associadas aos exames dos ensaios laboratoriais permitem os seguintes comentários acerca dos materiais construtivos estudados para a barragem Riacho da Serra:

- a) As caracterizações realizados (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), SM (areia siltosa) e SM-SC (areia silto-argilosa) 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, SM e SM-SC apresentam as seguintes características:

Solo SC

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

Solo SM

- Média a fraca resistência à erosão;
- Alta resistência ao cisalhamento;
- Semi-permeável a impermeável;
- Boa a regular trabalhabilidade.

Solo SM-SC

- Média a fraca resistência à erosão;
- Alta resistência ao cisalhamento;
- Semi-permeável a impermeável;
- Boa a 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^o 4.6 os valores médios da massa

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



específica seca máxima ($\gamma_{sm\acute{a}x}$) e a umidade ótima (h_{ot}), obtidas nos ensaios de compactação das jazidas.

Tabela Nº 4.6: Ensaios de Laboratório de Compactação				
Discriminação	Jazidas			
	J-01	J-02	J-03	J-04
Densidade	1,822	1,852	1,817	1,909
Umidade	13,9	14,8	14,0	10,9

- a) Os solos da jazida J-01 por possuírem um percentagem significativo de fragmentos de rocha em diversas dimensões e, de modo geral, baixa plasticidade, devem ser indicados para zonas mais permeáveis do maciço, como por exemplo o espaldar de jusante. Os fragmentos com dimensões maiores que a espessura da camada indicada para a confecção do aterro, devem ser excluídos.
- b) Os solos das jazidas J-02, J-03 e J-04 devem ser indicados para zonas de restrições ao fluxo d'água, como núcleo impermeável e trincheira de vedação, haja visto sua maior plasticidade e características mais argilosas, indicadas nos ensaios de caracterização e triaxiais embora, os ensaios de permeabilidade não tenham registrado uma maior impermeabilidade. A distancia de transporte das jazidas destes solos limita sobremaneira o emprego irrestrito destes materiais no maciço da barragem.
- c) material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção prioritária a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta características apropriadas para tais fins. Inúmeras ocorrências de afloramentos rochosos foram mapeadas junto ao eixo da barragem porém, selecionou-se uma região a jusante da ombreira direita como pedreira reserva, para maior salvaguarda do sítio do maciço.



d) Os bancos de areia do rio Figueiredo, com permeabilidade média de 5×10^{-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. O depósito aluvionar de areia grossa que ocorre a pouca profundidade, na calha do riacho da Serra, pode ser usado em substituição ao material do rio Figueiredo, caso sejam concebidas no projeto escavações na fundação. Interessante observar que areal do rio Figueiredo, em relação ao aproveitamento do depósito do riacho da Serra, representa um acréscimo de distancia de transporte de cerca de 9 km.

4.5. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

4.5.1. Introdução

A realização dos estudos hidrológicos da Barragem Riacho da Serra, teve como finalidade, a obtenção dos elementos hidrológicos para o dimensionamento do reservatório e das estruturas hidráulicas de descarga da obra.

No desenvolvimento do trabalho foram realizados os seguintes estudos:

- Ficha Hidrológica e Curvas Cota x Área x Volume;
- Caracterização da Bacia Hidrográfica;
- Caracterização Climática;
- Estudo de Chuvas Intensas;
- Estudos de Deflúvios;
- Estudo de Cheias de Projeto;
- Dimensionamento do Reservatório;
- Estudos Adicionais.

4.5.2. Ficha Hidrológica e Curvas Cota x Área x Volume

A seguir é apresentado a Ficha Hidrológica da Barragem Riacho da Serra trazendo as principais informações coletadas e as calculadas, como também a tabela



Já na Tabela 4.1. é apresentada a curva Cota x Área x Volume e na Figura 4.1, são apresentadas as curvas Cota x Área x Volume.

FICHA HIDROLÓGICA - BARRAGEM RIACHO DA SERRA

Município	Iracema
Rio ou Riacho Barrado.....	Riacho da Serra
Área da Bacia Hidrográfica	173,4 km ²
Comprimento do Talvegue Principal.....	49,6 km
Desnível do Talvegue Principal.....	555 m
Precipitação Média Anual	834 mm
Escoamento Médio Anual	147,7 mm
Evaporação Média Anual(Tanque Classe A)	2.235 mm
Sangradouro Tipo	Soleira Espessa
Cota do Sangradouro.....	88,00 m
Largura do Sangradouro.....	120 m
Comprimento/Declividade Longitudinal do Sangradouro	73 m/0,00 %
Volume Máximo de Acumulação (Cota 88,00)	23,47 hm ³
Vazão Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos.....	459 m ³ /s
Cota Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos.....	89,99 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos.....	721 m ³ /s
Cota Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos.....	90,48 m
Vazão Regularizada com 90% de Garantia	0,37 m ³ /s
Vazão Regularizada com 95% de Garantia	0,31 m ³ /s
Vazão Regularizada com 99% de Garantia	0,24 m ³ /s



TABELA 4.1 - CURVA COTA x ÁREA x VOLUME

Cota(m)	Área (ha)	Volume (hm ³)	Volume Acum.(hm ³)
72.968	0.00	0.00	0.00
74.000	2.40	0.01	0.01
76.000	26.31	0.29	0.30
78.000	64.75	0.91	1.21
80.000	117.24	1.82	3.03
82.000	182.46	3.00	6.03
84.000	247.19	4.30	10.32
86.000	323.31	5.71	16.03
88.000	420.73	7.44	23.47
89.000	473.62	4.47	27.94
90.000	529.64	5.02	32.96
91.000	590.28	5.60	38.56
92.000	655.68	6.23	44.79
93.000	724.00	6.90	51.68
94.000	791.81	7.58	59.26
95.000	858.66	8.25	67.52

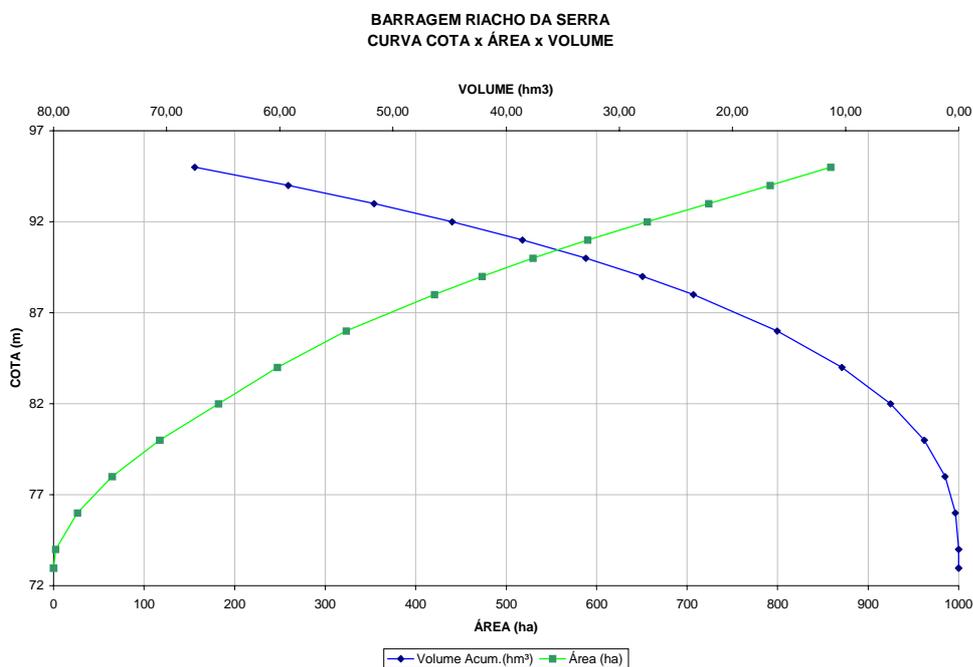


FIGURA 4.1 - CURVAS COTA x ÁREA x VOLUME



4.5.3. Caracterização da Bacia Hidrográfica

A Barragem Riacho da Serra barra o riacho de mesmo nome nas coordenadas UTM N 9.384.980 e E 574.730. A barragem situa-se próxima à localidade de Cacimba do Cunha, no município de Iracema, pertencendo à microrregião geográfica do Serra do Pereiro.

4.5.3.1. Sistema de Drenagem e Açudes Existentes

A bacia hidrográfica da Barragem Riacho da Serra tem como principal contribuinte o riacho homônimo, abrangendo uma área de contribuição de 170 Km². O riacho da Serra se estende na direção sul-norte, perfazendo, aproximadamente, 47,45 Km do ponto mais a montante do sistema de drenagem até o eixo da barragem.

Observa-se que o rio Figueiredo, principal curso d'água da região, recebe as água do riacho da Serra nas proximidades da cidade de Alto Santo.

4.5.3.2. Solos e Cobertura Vegetal

Os solos presentes na bacia de drenagem da Barragem Riacho da Serra são predominantemente associações de solos Litólicos Eutróficos+Afloramentos Rochosos (Re40) e de solos Litólicos+Podzólicos Vermelho-Amarelo+Afloramentos Rochosos (Re58), abrangendo em conjunto cerca de 82% da área da bacia hidrográfica.

Ressalta-se que a bacia hidráulica da Barragem Riacho da Serra inundará uma região cujo o solo dominante é a associação de solos Litólicos Eutróficos+Bruno Não Cálcico (Re38).

Analisando a caracterização da cobertura vegetal e uso do solo para a bacia hidrográfica da Barragem Riacho da Serra, nota-se que a região da bacia de drenagem do mesmo possui ótimo estado de preservação das matas virgens, pois aproximadamente 90 % da área é coberta por caatinga arbórea densa e caatinga herbácea arbustiva, além de que áreas identificadas como de solo exposto ou



áreas antropizadas, as quais indicam sinais de degradação ambiental, representam menos de 7% da área da bacia hidrográfica.

Conclui-se que a bacia de drenagem da Barragem Riacho da Serra encontra-se em ótimo estado de conservação, não apresentando sinais representativos de degradação ambiental.

4.5.3.3 Geologia e Geomorfologia

O projeto está localizado no complexo Pré-Cambriano não diferenciado, caracterizado por gnaisses e migmatitos. A região apresenta também intrusões graníticas alongadas na direção nordeste. A foliação regional é norte-noroeste e a área é caracterizada por dobras com direção paralela a esta foliação. A falha de Jaguaribe, cuja direção é paralela a foliação regional, passa alguns quilômetros à oeste do local da barragem.

4.5.3.4. Determinação do Número CN

CN ou *Curve-Number* é o parâmetro de abstração do Método *Curve-Number* do Soil Conservation Service –SCS utilizado neste trabalho para estimativa da precipitação efetiva.

Com as informações do grupo de solo hidrológico da bacia e o uso do solo (classificado de acordo com o Método CN) determinou-se o CN, a ser adotado no cálculo da precipitação efetiva, ponderando-se estas informações, conforme apresentado no Quadro 4.9 a seguir.

Determinou-se, portanto, que para o cálculo da precipitação efetiva na bacia da Barragem Riacho da Serra deve ser usado CN igual a 82.



Quadro 4.9: Determinação do Número CN para a Área da Bacia Hidrográfica da Barragem Riacho da Serra.

USO do SOLO	ÁREA (m ²)	PONDERAÇÃO CN	
		CN	PESO
Plantações regulares em fileiras retas	1.366.200	88	0,01
Florestas Normais	40.649.400	76	0,24
Florestas Esparsas	115.759.800	84	0,69
Estradas de terra de superfície dura	17.100	92	0,00
Pastagens ou terrenos em más condições	11.101.500	89	0,07
CN GERAL			82

4.5.4. Caracterização Climática

Para a caracterização climática da região foram utilizadas as informações da estação meteorológica de Morada Nova, a qual é a estação geograficamente mais próxima do local da barragem, localizada nas coordenadas UTM N=9.436.243 e E=568.354. As informações com relação a temperatura, insolação, umidade relativa, ventos e evaporação foram extraídas das *Normas Climatológicas - 1961 a 1990* - do INEMET (1992), para a estação meteorológica de Morada Nova.

Em síntese, o clima da bacia em estudo é caracterizado pelos indicadores do quadro 4.10 a seguir:

Quadro 4.10

INDICADOR	ÍNDICE
Pluviometria média anual	834 mm
Semestre chuvoso e índice de concentração	Jan/Jun
Trimestre úmido	Mar/Maio
Trimestre seco	Set/Nov
Mês de maior pluviosidade	Março
Temperatura média anual	27,1 oC
Média das temperaturas mínimas	21,9 oC
Média das temperaturas máximas	33,8 oC
Amplitude das médias extremas	22,7 oC



INDICADOR	ÍNDICE
Umidade relativa média anual	67,5 %
Período de maior umidade relativa	Março
Período de menor umidade relativa	Setembro
Insolação anual	2983 h
Período de maior insolação	Outubro
Período de menor insolação	Abril
Ventos de 1ª predominância	Este/Nordeste
Velocidade média dos ventos	3,2 m/s
Evaporação média anual em tanque classe A	2235 mm
Período de maior evaporação	Out/Nov
Período de menor evaporação	Mar/Abr
ETP média anual	1892 mm

4.5.5. Estudos de Chuvas Intensas

Para os estudos de Chuvas Intensas foi utilizada a série anual de máximos diários da estação Açude Ema (código 3813532), por dispor de maior registro de dados e estar localizada na bacia do açude em questão. Na realidade é a única estação com dados disponíveis em quantidade desejável.

4.5.5.1. Chuvas Máximas Diárias

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Depois de compara-las, foi escolhida a Lognormal de 3 parâmetros como a que melhor se ajustou, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 4.11.

Quadro 4.11: Análise de Frequência de Máximos Diários de Chuva Posto Pluviométrico: 3813532

TR (anos)	P(1dia) - mm
100	158
1000	219
10000	295



4.5.5.2. Chuvas Intensas

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, que é capaz de registrar a “precipitação 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-freqüência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional (através de pluviógrafos), utilizou-se o Método das Isozonas (Taborga Torrico, 1975).

Os resultados são apresentados nos quadros 4.12 e 4.13 a seguir.

Quadro 4.12: Estudo de Chuvas Intensas - Precipitações em mm Posto Pluviométrico: 3813532 ISOZONA: G

TR (anos)	P(1dia)	P(24h)	P(1h)	P(6min)
100	158	174	80	24
1000	219	241	107	33
10000	295	325	140	44

A chuva pontual deve ser reduzida para a chuva em toda a bacia pelo fator de correção igual a 0,83 conforme cálculo detalhado e apresentado no Volume I ESTUDOS BÁSICOS TOMO-2 Estudos Hidrológicos.

O Quadro de precipitações intensas para a Bacia Hidrográfica fica então, multiplicando-se os valores acima pelo coeficiente encontrado:

**Quadro 4.13: Precipitações na Bacia da Barragem Riacho da Serra**

TR (anos)	P(1dia)	P(24h)	P(1h)	P(6min)
100	131	145	66	20
1000	182	200	89	27
10000	245	270	116	37

4.5.6. Estudo de Deflúvios

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude foi realizada objetivando fornecer elementos para a simulação da operação e, conseqüentemente, o dimensionamento do reservatório.

A bacia hidrográfica da Barragem Riacho da Serra não possui estação fluviométrica. O Plano de Gestão das Águas da Bacia do Jaguaribe, trabalho realizado pela Engesoft para a COGERH, estudou as séries em toda a bacia e sub-bacias do Jaguaribe, inclusive a bacia do Riacho da Serra. A série do açude, portanto, foi retirada do referido estudo.

4.5.7. Estudo das Cheias de Projeto

A determinação da cheia de projeto para o dimensionamento do sangradouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão e na precipitação. Diante da escassez dos dados de vazão, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação.

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 da bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o Programa HEC-1.



Para a bacia da Barragem Riacho da Serra foi estudada uma resposta ao hietograma de projeto correspondentes a 1.000 e 10.000 anos de tempo de retorno.

4.5.7.1. Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia da Barragem Riacho da Serra foi assumida uma precipitação uniformemente distribuída e utilizado o modelo HEC-1.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas Altura - Duração - Freqüência obtida nos estudos hidroclimatológicos.

O Quadro 4.14 apresenta a chuva de projeto, obtida a partir das curvas precipitação-duração-freqüência e a precipitação associada aos tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h e 12 h e 24h.

Quadro 4.14: Chuva de Projeto na Bacia da Barragem Riacho da Serra

Intervalo de Tempo	P (mm)	
	1.000 Anos	10.000 Anos
5 min	26	38
15 min	48	65
1 h	89	116
2 h	108	143
3 h	120	160
6 h	143	192
12 h	170	230
24h	200	270

O hietograma de projeto tem uma duração superior ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui em $T_C = 7,6$ h .

O HEC-1 utiliza estes dados para construir uma distribuição triangular da precipitação.



4.5.7.2. Precipitação Efetiva

O método adotado para o cálculo da precipitação efetiva foi o método Curva - Número que 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 de um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN.

O CN para a bacia do Riacho da Serra foi estimado em 82, como citado anteriormente no quadro 4.9.

4.5.7.3. Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia.

4.5.7.4. Propagação da Cheia do Reservatório

As técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação de cheias em reservatórios.

Aplicada esta metodologia, obteve-se a curva chave do sangradouro observada no quadro 4.15 a seguir:

**Quadro 4.15: Coefic. de Manning=0.025 ; Comp. Sangrador = 73m ;
Declividade do Sangrador = 0.0 M/M**

VAZOES (M ³ /S)	YC (M)	VC (M/S)	V**2/2* G	E (M)	SF1 (M/M)	U1	SF1-S0 (M/M)	U2	YINIC (M)	LAMINA H(M)	H0 (M)
100	0.4137	2.0145	0.2068	0.6205	0.008304	0.3174	0.008304	0.9236	0.6205	0.903	0.946
200	0.6567	2.5381	0.3283	0.985	0.007157	0.7238	0.007157	1.2462	0.985	1.182	1.283
300	0.8605	2.9054	0.4302	1.2907	0.00657	1.0509	0.00657	1.5305	1.2907	1.418	1.576
400	1.0424	3.1978	0.5212	1.5636	0.006187	1.3377	0.006187	1.7894	1.5636	1.627	1.841
500	1.2096	3.4447	0.6048	1.8144	0.00591	1.5987	0.00591	2.0301	1.8144	1.819	2.086
600	1.3659	3.6605	0.6829	2.0489	0.005694	1.841	0.005694	2.2567	2.0489	1.996	2.316
700	1.5137	3.8535	0.7569	2.2706	0.00552	2.0691	0.00552	2.4721	2.2706	2.164	2.534
800	1.6547	4.0289	0.8273	2.482	0.005375	2.2858	0.005375	2.6782	2.482	2.323	2.742



VAZOES (M3/S)	YC (M)	VC (M/S)	V**2/2* G	E (M)	SF1 (M/M)	U1	SF1-S0 (M/M)	U2	YINIC (M)	LAMINA H(M)	HO (M)
900	1.7898	4.1902	0.8949	2.6848	0.005251	2.4931	0.005251	2.8764	2.6848	2.474	2.943
1000	1.9201	4.34	0.96	2.8801	0.005144	2.6923	0.005144	3.0679	2.8801	2.62	3.136

4.5.8. Resultados

A largura do sangradouro da barragem Riacho da Serra foi definida não em função de condições hidráulicas, mas em função da utilização da rocha escavada no sangradouro no corpo da barragem. Dessa forma, a largura foi definida como aquela que proporcionaria um escavação de tal monta que todo o material escavado fosse aproveitado na barragem.

Foram simuladas condições de operação para as seguintes cotas de sangria: 86m, 88m, 89, e 90m.

Essas simulações permitiram a estimativa de custos da barragem para cada cota de sangria, dados utilizados para a confecção da curva custo do m³ regularizado anual x volume armazenado apresentada mais adiante.

A largura do sangradouro escolhida foi de 120 m.

Para o tempo de concentração da bacia adotou-se uma chuva de duração igual a 24 horas.

Os picos de vazão efluyente e lâminas de sangria são mostrados no Quadro 4.16 a seguir, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Quadro 4.16: Vazões e lâminas de sangria

COTA DE SANGRIA (m)	TR = 1.000 ANOS		TR = 10.000 ANOS	
	Q(m ³ /s)	h(m)	Q(m ³ /s)	h(m)
86	526	2,15	806	2,75
88	459	1,99	721	2,60
89	428	1,91	676	2,48
90	398	1,84	639	2,40



4.5.9. Dimensionamento do Reservatório

4.5.9.1. Disponibilidade Hídrica

Foi utilizada a série de vazões já apresentada para obtenção das vazões regularizadas com 90%,95% e 99% de garantia a partir do uso do modelo de simulação de reservatórios HEC-3.

4.5.9.2. Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório

A determinação do tamanho do reservatório foi realizada tendo como base o custo mínimo do volume regularizado. Assim, foi realizado o dimensionamento hidrológico - econômico da capacidade do açude.

Para as diversas cotas, determinou-se o seu respectivo custo, tendo-se assim associado a cada cota um custo correspondente da obra. O menor custo do m³ regularizado se dá para o volume máximo armazenado de 23,47 hm³, ou cota de sangria 88m.

4.5.10. Estudos Adicionais

Neste capítulo foram realizados estudos adicionais visando fornecer características do reservatório durante a fase de operação. Foi estudado o seguinte:

- A probabilidade de enchimento do reservatório na fase transiente;
- A probabilidade de esvaziamento do reservatório na fase de equilíbrio;
- A probabilidade de extravazamento do reservatório na fase de equilíbrio;
- A curva de esvaziamento do reservatório.



A metodologia empregada tem suporte teórico na teoria estocástica de reservatórios ou Teoria de Moran², apresentando como novidade a inclusão da matriz de evaporação para considerar as perdas por esse processo – Método de Campos (1990).

² MORAN, P.A.P. 1959. THE THEORY OF STORAGE. LONDON: METHEUN & COLTD, 111p.



MONTGOMERY WATSON



5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM



5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM

5.1. GENERALIDADES

Nesse capítulo é apresentado o memorial descritivo da Barragem Riacho da Serra, que será construída barrando o riacho de mesmo nome que é afluente do Rio Figueiredo pela margem esquerda fazendo parte da bacia do Rio Jaguaribe. O ponto de barramento tem coordenadas UTM igual a Norte = 9.384.943 e Este = 575.055 está situado no município de Alto Santo, Ceará.

Para desenvolver o projeto da barragem foi levantado um eixo topográfico com 1.463,90 m de extensão. Deste total 243,90 m foram levantados no local do sangradouro e 1.220,00 m na barragem. O sangradouro foi estaqueado do zero a 12+3,90 e a barragem da 0 a 60. A estaca 12+3,90 do sangradouro é igual a zero da barragem.

O sangradouro foi projetado entre as estacas 5 e 11 tendo portanto 120,00 m de largura e a barragem ficou com 1.158,11 m, localizada entre as estacas 0+15,77 a 58+13,88.

O sangradouro é um canal escavado com soleira de fixação.

Na estaca 12 da barragem foi localizada a tomada d'água. A tubulação da galeria é de diâmetro de 500 mm. A cota do tubo na entrada de montante é 75,50 m. Entre o ponto inicial e o final há um desnível de 20 cm.

No desenho III-6-02/31-000 é apresentado a planta de locação dos eixos das obras.

No desenho III-6-03/31-000 é apresentado o Arranjo Geral das Obras.

O desenvolvimento deste item é feito abordando os seguintes tópicos:

- Relação de Desenhos;
- Escolha do Eixo Barrado;
- Escolha do Tipo de Barragem;



- Fundação da Barragem;
- Rebaixamento do Lençol Freático;
- Geometria da Trincheira de Vedação;
- Cortina de Injeção;
- Maciço da Barragem;
- Instrumentação;
- Sangradouro;
- Tomada d'água.

5.2. RELAÇÃO DE DESENHOS

Os desenhos são apresentados no Tomo – 3, porém para facilitar a descrição deste capítulo eles estão aqui relacionados:

BARRAGEM RIACHO DA SERRA	
RELAÇÃO DOS DESENHOS	
DESCRIÇÃO	NÚMERO
BACIA HIDRAÚLICA E CURVA COTA X ÁREA X VOLUME	III-6-01/31-000
PLANTA DE LOCAÇÃO DOS EIXOS DAS OBRAS	III-6-02/31-000
ARRANJO GERAL DAS OBRAS	III-6-03/31-000
PERFIL LONGITUDINAL DA BARRAGEM E SANGRADOURO	III-6-04/31-000
PLANTA DE LOCAÇÃO DAS SONDAGENS	III-6-05/31-000
BARRAGEM – PERFIL LONGITUDINAL DO SUBSOLO	III-6-06/31-000
SANGRADOURO – PERFIL LONGITUDINAL DO SUBSOLO	III-6-07/31-000
PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS E BOTA-FORA	III-6-08/31-000
BARRAGEM – SEÇÃO MÁXIMA E DETALHES	III-6-09/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 01 – EST. 09)	III-6-10/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 10 – EST. 12)	III-6-11/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 13 – EST. 14)	III-6-12/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 15 – EST. 16)V	III-6-13/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 17 – EST. 18)	III-6-14/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS(EST. 19 – EST. 21)	III-6-15/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 22 – EST. 24)	III-6-16/31-000



BARRAGEM RIACHO DA SERRA	
RELAÇÃO DOS DESENHOS	
DESCRIÇÃO	NÚMERO
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 25 – EST. 27)	III-6-17/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 28 – EST. 30)	III-6-18/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 31 – EST. 33)	III-6-19/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 34 – EST. 39)	III-6-20/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 40 – EST. 48)	III-6-21/31-000
SEÇÕES TRANSVERSAIS (EST. 49 – EST. 58)	III-6-22/31-000
SANGRADOURO – PLANTA, PERFIL, SEÇÕES	III-6-23/31-000
TOMADA D'ÁGUA – Escavação, Perfil, Planta e Seções	III-6-24/31-000
TOMADA D'ÁGUA – Planta , Cortes e Detalhes	III-6-25/31-000
TOMADA D'ÁGUA – Proteção da Caixa de Jusante - Detalhes	III-6-26/31-000
TOMADA D'ÁGUA – Caixa de Jusante e Montante	III-6-27/31-000
TOMADA D'ÁGUA – Armadura, Caixa de Montante e Galeria	III-6-28/31-000
TOMADA D'ÁGUA – Armadura, Caixa de Jusante	III-6-29/31-000
DRENAGEM SUPERFICIAL – Detalhes	III-6-30/31-000
INSTRUMENTAÇÃO	III-6-31/31-000

5.3. ESCOLHA DO EIXO BARRÁVEL

No relatório “Estudos de Alternativas de Localizações das Barragens” apresentado à SHR em maio/2001 foram descritas as alternativas selecionadas para o eixo do barramento. Foi utilizado uma carta topográfica de 1:25.000 disponível nos estudos de transposição do rio São Francisco/DNOS.

Foram selecionados quatro locais numerados em ordem crescente de jusante para montante e em cada eixo definiu-se, para efeito comparativo, uma altura de barragem que acumulasse o mesmo volume 20hm^3 . Em cada alternativa foi levantado o maciço de terra necessário para execução da obra. A tabela 5.1 mostrada a seguir sintetiza essas informações:

**Tabela 5.1**

EIXO	COTA (m)	COTA SANGRIA (m)	VOLUME ACUMULADO (m ³)	EXTENSÃO (km ²)	ALTURA MÁXIMA (m)	ALTURA MÉDIA (m)	VOLUME DO MACIÇO (m ³)
I	91,5	86,5	20,0	1446	18,5	9,12	333.645
II	92,6	87,6	20,0	630/254	16,6/8,5	10,55/4,76	209.965
III	94,7	89,7	20,0	825	18,7	10,02	227.818
IV	102,6	97,6	20,0	577	24,6	12,87	252.012

Percebe-se ao examinar o quadro acima que o eixo II é aquele que oferece um volume menor de solo compactado.

Portanto, selecionou-se o eixo II como a alternativa mais vantajosa para o barramento.

5.4. ESCOLHA DO TIPO DE BARRAGEM

Como seleção preliminar do tipo de barragem a ser detalhada, levando em conta os condicionantes de contorno tais como: altura do barramento, a proximidade dos materiais de construção, dificuldades de execução da fundação e outros, foram imaginadas e apresentadas três seções tipo de barramento que são descritas a seguir:

- 1) SEÇÃO TIPO-1: Maciço em terra zoneada com núcleo impermeável central construído com material das jazidas J-02, J-03 e J-04, com trincheira de vedação (cut-off) também constituído com material das jazidas J-02, J-03 e J-04 e espaldares com material da jazida J-01. O sistema de drenagem interna compreende filtro de areia, tapete drenante e dreno de pé. O paramento de montante será protegido por riprap assente sobre uma camada de transição. O talude de jusante será protegido por uma camada de produto de britagem.
- 2) SEÇÃO TIPO-2: Maciço em terra zoneada com núcleo impermeável central construído com material das jazidas J-02, J-03 e J-04, com tapete impermeabilizante de montante com 2,0 metros de espessura e 200,0 metros de comprimento executado com materiais das jazidas J-02, J-03 e J-04 e



espaldares com material da jazida J-01. O sistema de drenagem interna compreende um filtro de areia, tapete drenante e dreno de pé. O paramento de montante será protegido por riprap assente sobre uma camada de transição. O talude de jusante será protegido por uma camada de produto de britagem.

- 3) SEÇÃO TIPO-3: Maciço em terra zoneada com núcleo impermeável central com material das jazidas J-02, J-03 e J-04, com uma cortina de vedação tipo cut-off até o nível do lençol freático e a partir deste nível com trincheira de lama betonítica (Slurry Trench), com 1,0 metro de espessura até alcançar o solo residual. Os espaldares foram idealizados com material da jazida J-01. O sistema de drenagem interna compreende um filtro de areia, tapete drenante e dreno de pé. O paramento de montante será protegido por riprap assente sobre uma camada de transição. O talude de jusante será protegido por uma camada de produto de britagem.

Procedeu-se a um confronto econômico entre as alternativas, orçando apenas os itens que diferem em cada alternativa. Os resultados são mostrados no quadro 5.1 a seguir:

Quadro 5.1

CUSTO DO MACIÇO (R\$)	SEÇÕES ALTERNATIVAS		
	TIPO I	TIPO II	TIPO III
	R\$ 5.065.717	R\$ 5.451.765	R\$ 4.719.882

Ressalta-se que o preço unitário usado para orçar a alternativa com “Slurry Trench” foi baseado em obras de grande porte existentes nas regiões mais desenvolvidas do país, localizadas no Centro Sul, e que trazendo para a realidade da Barragem Riacho da Serra esses preços deverão ser bem maiores pois na região não existe empresas equipadas para fazer tal serviço. Ressalta-se, ainda, que mesmo usando valores menores do que os que serão cobrados, a diferença foi de, apenas 7,3%. Pelos motivos expostos anteriormente o Consórcio projetista optou pela Alternativa I.



Ressalta-se aqui que a seção desenvolvida nesse Projeto apresenta algumas variações com relação à seção apresentada à SRH. Essas mudanças foram resultados das discussões com o painel de Consultores e Fiscalização no aprofundamento da concepção.

5.5. FUNDAÇÃO DA BARRAGEM

Para identificação das características geotécnicas da fundação da barragem Riacho da Serra o Consórcio Projetista programou e realizou uma campanha de sondagens, a percussão e mista, consistindo na realização de dezenove furos de sondagens percussivo SP-01 ao SP-19 e seis furos de sondagens mistas SM-10, SM-11, SM-12, SM-13, SM-14 e SM-15.

Os furos de sondagem a percussão foram executados no eixo, 30,0 metros a montante e 30,0 metros a jusante. Esses furos estão distribuídos entre as estacas 13+10,0m a 49+10,0m.

Os seis furos de sondagem mista foram distribuídos entre as estacas 9+2,00m e 33.

Os perfis dessas sondagens evidenciam que entre o início do barramento estaca O+15,77 até a estaca 10 verifica-se que a cobertura de solo é bastante delgada, chegando-se o topo rochoso, ou limite, da penetração a percussão, com poucos centímetros. A camada de solo é caracterizada por formações do tipo Silte Arenoso c/ Fragmentos de Rocha o que confirma o solo residual da rocha mãe.

Entre as estacas 10 e 20, 200,0 metros de extensão, há uma grande variação no perfil geotécnico. Há na estaca 13+10,00m o surgimento de camada aluvionar de areia média e grossa e areia fina e média siltosa com cerca de 2,50m de espessura e uma camada de solo residual totalizando uma camada em solo com profundidade de 4,50m até bater no topo rochoso. Os SPT'S encontrados nas sondagens desta estaca, SP-2, 30,0m a jusante, SM-11 no eixo e SP-12 30,0m a montante, indicam nos horizontes superiores valores de 2 e 4 golpes. Embora nos SPT'S do furo do eixo os valores são mais elevados.



Nos furos da estaca 13+10,00m foram executados ensaios de infiltração sendo obtidos valores variável de 10^{-2} cm/s a 10^{-5} cm/s, sendo os mais elevados na camada aluvionar e os mais baixos no solo residual.

O local da calha do rio fica compreendido entre as estacas 13+10 e 18, representando 140 m de extensão. Esse local foi estudado através da execução de quatro sondagens. Três percussiva SP-03 na estaca 16+10,00m 30,00m a jusante, SP-13 na estaca 16+10,00m 30,00m a montante, SP-18 na estaca 15 eixo, SP-19 na estaca 17+10,00m eixo, e uma mista SM-12 executada na estaca 16+10,00m no eixo.

Examinando os perfis dessas sondagens verifica-se que há um aprofundamento da camada aluvionar que chega a atingir próximo de 11,00m de profundidade. Durante a execução das sondagens foram realizados ensaios de infiltração no sedimento e foram obtidos valores variando de 10^{-2} cm/s a 10^{-5} cm/s. As resistências de SPT'S encontradas foram menores nas camadas superiores.

A partir da estaca 18 a profundidade do aluvião diminui rapidamente e chega a desaparecer já na estaca 21, onde o perfil da sondagem SP-14 mostra uma pequena camada de solo residual. O restante do estaqueamento, entre as estacas 21 e 61, foi caracterizado pelas sondagens SP-05, SP-06, SP-07, SP-08, SP-09, SP-10, SP-16 e SM-15. Examinando esses perfis de sondagens verifica-se que as percussões atingiram pouca profundidade normalmente inferior a 1,0 metro. O furo mais profundo foi a sondagem SP-06 executado 30m a jusante da estaca 27. A sondagem neste furo foi até 3,23m e nele foram encontradas duas camadas de areia fina e média pouco siltosa sobre uma camada de areia fina siltosa micácea com fragmentos de rocha ressaltando o solo residual.

Finalizando este tópico a respeito da fundação da barragem, pode-se estabelecer as seguintes ações relacionadas a seguir:

- a) Em toda a extensão da barragem, localizada nas ombreiras, será providenciado o expurgo de 0,20m de solo entre os offset de montante e



jusante, portanto, os espaldares serão assente normalmente sobre o terreno limpo;

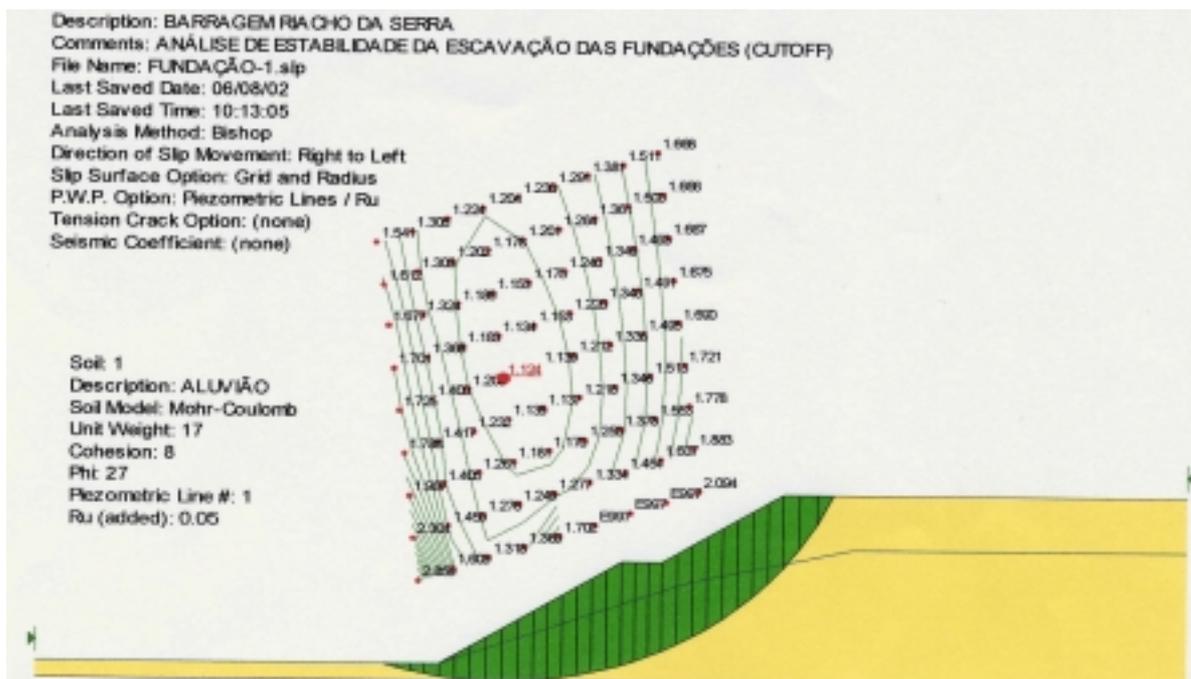
- b) A trincheira de fundação para as regiões de ombreira, terão pouca espessura e repousarão sobre o solo residual ou rocha;
- c) Para a calha do rio entre as estacas 10 e 20 está prevista a retirada de todo material aluvionar chegando ao topo rochoso.

5.6. GEOMETRIA DA TRINCHEIRA DE FUNDAÇÃO

A trincheira de fundação será escavada alinhada com o bordo de jusante do coroamento de jusante para montante. Será executada entre as estacas 0+15,77 e 58+13,88. Sua profundidade será nula nas extremidades e variará até 11,00m dentro da calha do rio sempre repousando sobre solo residual ou topo rochoso. No desenho n.º III-6-4/31-000 do Tomo-3 pode ser observado a linha limite de escavação do cut-off.

A base do cut-off terá dimensões variando de 6,0 a 7,0m como pode ser visto nos desenhos n.ºs III-6-09/31-000 ao III-6-22/31-000 do Tomo-3.

A análise da estabilidade dessa escavação foi feita utilizando o Soft Slope/W. O resultado é mostrado na figura a seguir:



A trincheira será escavada com taludes de 1,0 : 1,5 (V:H). Com 4,0 m de profundidade será incorporado uma berma de 2,0 m para prosseguir as escavações.

5.7. REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

Na execução da trincheira de vedação no leito do rio, haverá a necessidade de escavação abaixo do lençol freático para atingir a cota do fundo da vala. Examinando os perfis das sondagens executados, no leito do rio, verifica-se que foi encontrado o nível d'água a 1,36m na sondagem SM-11, a 2,25m na sondagem SM-12 e a 0,90m na sondagem SM-14.

Como pode se ver a escavação poderá ter trechos onde o rebaixamento chegará a 9,00m.

Na campanha de investigação e amostragem a ser realizada na zona da calha do rio deverá também, serem coletadas informações necessárias para o rebaixamento a ser utilizado.



5.8. MACIÇO DA BARRAGEM

5.8.1. Descrição da Seção Tipo

Este item tem a finalidade de descrever com detalhes a seção tipo adotada para a Barragem Riacho da Serra que apresenta as seguintes características.

- **Cota e Largura da Crista**

A cota da crista foi definida em função dos estudos hidrológicos após simulação da soleira em várias cotas, foi determinado que o menor custo regularizado se dá para o volume máximo armazenado de 23,47hm³, ou cota de sangria igual a 88,00m. Como pode ser visto no desenho III-6-04/31-000 do Tomo-3 “Perfil longitudinal da Barragem e do Sangradouro”. A partir da definição da cota da soleira e das informações hidrológicas sobre as lâminas milenar e decamilenar foi determinada a altura da onda, em função do fecht de 8,38km, como sendo 1,29m a partir daí calculou-se a folga $f = 1,82m$. Considerando a lâmina da cheia milenar obteve-se a revanche $R = 3,81m$ e daí resultou na cota do coroamento que foi fixada em 92,50m.

A largura do coroamento foi determinada pela fórmula de Preece e verificou-se que o valor encontrado é ligeiramente inferior a 6,00m. Portanto, foi adotado um coroamento com 6,00 metros de largura. A seção transversal apresenta um caimento de 2% para montante. A camada final com 20,00cm de espessura será executada com cascalho areno argiloso compactado ou “fundo de pedreira”. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios moldados “in situ” com abertura para montante espaçadas de 20,00m em 20,00m.

Nos desenhos III-6-04/31-000 e III-6-09/31-000 podem ser vistos os detalhes em forma de seção e, perfis da geometria geral descritas acima.



- **Materiais Construtivos do Maciço**

Para a execução da barragem foram pesquisadas quatro jazidas de solos J-01, J-02, J-03 e J-04, que serão otimizadas com os materiais das escavações do sangradouro para construção da obra projetada.

O maciço terroso será construído fazendo-se um zoneamento dos solos. Portanto no projeto, como pode ser visto no desenho III-6-09/31-000 - Seção Máxima, a barragem terá uma zona central que será executada com material das jazidas J-02, J-03 e J-04 que distam do centro da barragem, respectivamente 6145,00m, 3733,00m e 5271,00m. O topo dessa zona ficará na cota 89,99m correspondendo a lâmina milenar, e a largura, na cota do topo, será de 5,00m marcados do bordo de jusante da barragem para montante. Pelo lado de jusante, o talude será vertical e por montante terá inclinação de 1: 0,40 (V:H).

Os espaldares serão construídos com materiais vindo da jazida J-01, que dista 3.605,00m do centro do eixo da barragem, através das estradas existentes atualmente na região.

Além dos materiais terrosos, foram estudados materiais arenosos e pétreo para uso no sistema de drenagem interna e nas zonas de proteção dos paramentos de montante e jusante respectivamente.

- **Talude de Montante**

O talude de montante foi previamente escolhido com inclinação de 1:2,5 (V:H) em toda a sua extensão e esta inclinação foi confirmada através das análises de estabilidade. Foi previsto fazer a proteção do talude de montante com material pétreo da seguinte forma: Abaixo da cota 75,0 m será colocado uma camada de brita "A" com 30 cm de espessura. Entre as cotas 75,0 m e 83,0 m será colocado uma camada de brita "A" com 50 cm de espessura. Acima da cota 83,0 m até o coroamento (92,50 m) será executado um rip-rap com 1,20 m de espessura, sendo que os 90 cm superficiais serão executados com pedras com a granulometria do material a ser empregado no enrocamento de pé. Os 30 cm



restantes é que ficarão em contato com o paramento da barragem, serão executados com brita “A”.

A seguir são apresentados as granulometrias da brita “A” e do material do enrocamento de pé.

TABELA 5.2: BRITA “A”

Peneiras (mm)	% Passando
300	100
100	88 - 98
50,80 (2”)	71 - 93
25,40 (1”)	44 - 86
9,52 (3/8”)	10 - 76
4,76 (nº 4)	0 - 34
2,00 (nº 10)	0 - 10
1,19 (nº 16)	0

TABELA 5.3: ENROCAMENTO DO RIP-RAP

Peneira (mm)	% Passando
1000	100
500	58-94
100	4-60
50,80 (2”)	1-33
38,10 (1 1/2”)	0-20
30mm	0

- **Talude de Jusante**

O talude de jusante foi previamente escolhido com inclinação de 1:2 (V:H) até a cota 80,00m quando foi previsto o topo do “rock fill”, que tem 4,00m de coroamento, sendo 2,00m em solo e 2,00m em enrocamento, talude de jusante de 1:1,5 (V:H) e talude de montante 1:1 (V:H).

A estabilidade do talude de jusante foi confirmada nas análises de estabilidade.



Para fazer a proteção do talude de jusante foi prevista a colocação de uma camada de 0,30m de espessura de material oriundo de britagem de blocos de rocha, com a granulometria apresentada na tabela 5.4 a seguir:

Tabela 5.4: Material de Proteção do Talude de Jusante

Peneiras (mm)	% Passando
101,6 mm (4")	100
50,8mm (2")	64-90
25,4mm (1")	48-78
9,5mm (3/8")	28-74
4,8mm(Nº 4)	12-50
2,0mm (Nº 10)	0-36
0,42mm (Nº 40)	-

Não será utilizado o sistema de calhas de drenagem no talude de jusante. Será prevista a execução de calhas nas ombreiras, no encontro do talude com o terreno natural na barragem.

- **Filtro Vertical**

Está prevista a execução de um filtro vertical, com topo na cota 89,99m como parte do sistema de drenagem interna, com 1,00m de espessura, executado em areia grossa do areal A-01, cuja granulometria média é mostrada na tabela 5.5 a seguir:

Tabela 5.5: Ensaios de Laboratório do Areal

Peneiras (mm)	% Passando
1"	100
3/8"	99
N.º 4	96
N.º 8	89
N.º 16	57
N.º 30	20
N.º 50	1
N.º 100	-



Deve-se ressaltar que está previsto o aproveitamento do material arenoso que será retirado da escavação do cut-off. A areia do cut-off deve apresentar características granulométricas e de permeabilidade adequadas para exercer a função de dreno, para esta verificação, antes de iniciar as escavações da fundação, devem ser procedidos ensaios de permeabilidade nos solos aluvionares da fundação e retiradas de amostras (com amostrador Denison) para ensaios de granulometria.

O complemento dos volumes necessários será feito com o areal do Rio Figueredo, que apresentou uma permeabilidade média de 5×10^{-3} cm/s, um diâmetro máximo de 4,8mm e um Módulo de Finura de 3,50.

O enquadramento dessa areia na Classificação Unificada USC mostra que ela é do tipo SP, ou seja, areia mal graduada.

O topo do filtro vertical ficará na cota 89,99m que corresponde a cheia milenar. O filtro vertical será executado entre as estacas 05 e 55.

- **Tapete Drenante**

Para receber as águas do filtro vertical e do maciço rochoso da fundação está prevista a execução do tapete drenante com 1,00m de espessura e constituído de areia dos areiais previstos..

O tapete drenante será executado entre as estacas 5+10 e 55. Entre as estacas 5+10,0 e 9+10 e estacas 22+10 e 55, o tapete não se estenderá até o pé da barragem e terá 6,00m de largura. As águas que ali chegarem drenarão no sentido do gradiente da ombreira, ou seja, no sentido paralelo ao eixo. Entre as estacas 9+10 e 22+10, na região do vale do rio, o tapete drenante será pleno e se estenderá até o pé da barragem. As águas que chegarem nessa região vindas das ombreiras e da parte central do maciço serão encaminhadas para fora da seção pelo pé de jusante para os pontos mais baixos onde será construído um pequeno medidor de vazão para avaliar a perda pela fundação e maciço. Esses detalhes podem ser vistos nos desenhos III-6-09/31-000 a III-6-22/31-000.



- **Dreno de Pé**

Finalmente, concluindo os dispositivos de drenagem interna, está prevista a execução de um dreno de pé do talude de jusante que consiste de um enrocamento com blocos de pedras obtidos da demolição de material de rocha sã, com a granulometria mostrada na tabela 5.6 abaixo:

Tabela 5.6: Material do Enrocamento

Peneira (mm)	% Passando
1000	100
500	58-94
100	4-60
50,80 (2")	1-33
38,10 (1 1/2")	0-20
30mm	0

O enrocamento terá seção trapezoidal com taludes de montante de 1:1 (V:H) e jusante 1:1,5 (V:H), a cota do coroamento será de 80,0m e a largura será de 4,00m, sendo 2,00m em solo e 2,00m em enrocamento. O enrocamento será executado entre as estacas 11 e 32, ou seja, 420m de extensão.

No contato do enrocamento com a barragem e com a fundação foi previsto a execução de uma camada de transição formada por areia e brita. A areia virá da escavação do cut-off ou do Rio Figueredo e terá 0,50m de espessura com granulometria mostrada na tabela 5.5. A brita será obtida da britagem de rocha sã vindo da escavação do Sangradouro ou da Pedreira, sendo denominada Brita "A" cuja granulometria é mostrada a seguir na tabela 5.7:

**TABELA 5.7: BRITA “A”**

Peneiras (mm)	% Passando
300	100
100	88 – 98
50,80 (2”)	71 – 93
25,40 (1”)	44 – 86
9,52 (3/8”)	10 – 76
4,76 (nº 4)	0 – 34
2,00 (nº 10)	0 – 10
1,19 (nº 16)	0

Os detalhes desse projeto podem ser visto no desenho III-6-09/31-000.

5.9. ANÁLISE DE ESTABILIDADE

5.9.1. Considerações Gerais

A geometria da barragem Riacho da Serra foi analisada quanto a estabilidade de duas maneiras, recorrendo-se a análise estática e verificando o comportamento diante de abalos sísmicos que ocasionalmente tem ocorridos em diversas regiões do Ceará. Os sísmicos no Ceará são mais freqüentes na região Centro Sul, como nos municípios de Pacajus e Morada Nova.

Pesquisas recentes (Assumpção, 1992 e 1998; Ferreira et.al., 1995 e 1997; Lima et al., 1997) indicam que os esforços crustais no Nordeste são bastante uniformes, com compressão paralela e tração perpendicular à costa norte, favorecendo uma única província sismotectônica principal no Nordeste. A tendência geral das estruturas do embasamento tem direção SW – NE.

A região da Bacia Potiguar e faixa margeante, prolongando-se pelas bacias Costeira do Ceará e Rio Grande do Norte, encontram-se entre as principais zonas sismogênicas do Nordeste (Ferreira, 1986). Nestes dois estados tem ocorrido, nos últimos trinta anos, exames sísmicos tais como: Pereiro (CE/1968), Parazinho (RN/1973), Pacajus (CE/1980), João Câmara (RN/1986), Palhano (CE/1988) e Cascavel (CE/1994).



As poucas informações disponíveis conduzem a uma abordagem determinística para a análise do risco sísmico baseada na consideração dos sismos ocorridos, nas proximidades do local da obra, como fontes sísmicas pontuais.

Na década de 70, a U.S. Atomic Energy Commission (USAEC), propôs critérios para análises sísmicas e para a determinação do terremoto de projeto, que são utilizados até hoje (Clough e Penzien, 1993 e Almeida e Eusébio, 1992) para a caracterização do movimento do solo devido à terremotos. Para a região leste dos Estados Unidos é recomendada a adoção do maior terremoto já ocorrido na Província Sismotectônica, com a menor distância epicentral já verificada. Um limite de 0,10g é proposto para a aceleração no local da obra. Entretanto, segundo procedimentos mais modernos, níveis de aceleração máximos menos conservadores tem sido adotados.

Nas simulações de análise sísmica da Barragem Castanhão com mais de 50,00m de altura foi adotada a aceleração horizontal $a_h = 0,07g$.

A projetista entende que pode adotar esse mesmo valor na verificação da análise sísmica da Barragem Riacho da Serra por duas razões. A primeira devido ao caráter regional dos estudos de informações sísmica. A segunda pelo fato de que a obra em questão está a menos de 60km da Barragem Castanhão.

A análise da estabilidade estática foi realizada recorrendo-se ao método do equilíbrio limite, proposto por Bishop, implementado automaticamente através do programa de cálculo SLOPE/W.

Os cálculos da estabilidade foram realizados sobre a seção de maior altura que fica na estaca 16 e tem 19,10m de altura.

As análises efetuadas obedeceram às recomendações da literatura e correspondem as seguintes situações:

- Final de Construção – taludes de montante e jusante;
- Reservatório Cheio com Fluxo Permanente – talude de jusante;



- Rebaixamento Próprio – talude de montante.

A análise da estabilidade sísmica foi efetuada recorrendo-se ao Método de Bishop Simplificado, também implementado automaticamente pelo soft SLOPE/W. Foram analisadas as situações de final de construção e rebaixamento rápido. O coeficiente de sísmico adotado foi de 0,07g, para as duas direções e situações.

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

a) Adoção do Coeficiente R_u

Para a situação de final de construção adotou-se o coeficiente R_u para obtenção das tensões neutras. 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 $R_u = U/\sigma$. 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 esteja na presença de materiais saturados de baixa permeabilidade.

Nos materiais utilizados normalmente para construção de barragem o coeficiente R_u é inferior a 0,20. No caso específico deste projeto adotou-se $R_u = 0,10$.

b) Definição da Linha Piezométrica

Para as situações 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

Para fazer as análises de estabilidade foi necessário estimar os parâmetros de resistência dos materiais componentes da seção tipo. Sobre os materiais das Jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04 foram realizados ensaios de compressão triaxial do tipo CD consolidado drenado nos poços, 97 da Jazida J-01, 08 da Jazida J-02, 13 da Jazida J-03 e poço 10 da jazida J-04. Os parâmetros efetivos obtidos são apresentados na tabela 5.8:

Tabela 5.8: Parâmetros Efetivos do Ensaio Triaxial

JAZIDA	FURO	C'(KPa)	ϕ' (°)
01	97	17,0	30,6
02	08	31,4	27,1
03	13	13,8	30
04	10	28,4	28,4

Examinando os resultados desses ensaios e levando em consideração a pequena representatividade de ensaios realizados, ou seja, um ensaio por jazida, fez-se uma avaliação geral envolvendo os valores encontrados, as características dos materiais e as indicações de valores de resistência obtidos em materiais semelhantes conforme recomendações do “Bureau of Reclamation”. Das conclusões dessa análise, foram estimados os parâmetros de resistência dos solos das Jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04.

Os demais materiais, tais como areia, brita, enrocamentos, camada de aluvião e maciço rochoso tiveram seus parâmetros avaliados com base em recomendações da literatura e experiência do projetista.

A Tabela 5.9. mostrada a seguir indica os valores dos parâmetros adotados para a análise da estabilidade da barragem:

**Tabela 5.9: Parâmetros Geotécnicos**

Material	γ (kN/m ³)	C (kPa)	ϕ (graus)	Ru
Riprap	18,0	0,00	38°	0,00
Espaldar	20,2	8,00	27°	0,10
Filtro	18,0	0,00	35°	0,10
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00
Núcleo	20,2	10,00	27°	0,10
Cutoff	20,2	10,00	27°	0,10
Aluvião	17,0	0,00	28°	0,10
Solo Residual	21,0	0,00	27°	0,10

5.9.2. Resultados Obtidos

a) Análise da Estabilidade Estática

Os valores dos fatores de segurança obtidos na análise de estabilidade estática são mostrados na Tabela 5.10:

Tabela 5.10 – Análise de Estabilidade – Estática

Simulação	C.S. mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,3	1,974	1,676	1,686
Final de Construção – Talude de Jusante	1,3	1,642	1,628	1,652
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,5	1,642	1,512	1,601
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante.	1,1	1,629	1,579	1,629

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 na Tabela 5.11:

Tabela 5.11 – Análise de Estabilidade – Abalo Sísmico

Simulação	C.S. mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção – Talude de Montante	1,0	1,465	1,314	1,407
Final de Construção – Talude de Jusante	1,0	1,384	1,374	1,398
Reservatório Cheio – Talude de Jusante	1,0	1,381	1,277	1,346
Esvaziamento Rápido – Talude de Montante.	1,0	1,363	1,342	1,394

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

5.10. ESTUDOS DE PERCOLAÇÃO PELA BARRAGEM E FUNDAÇÃO

Os estudos de percolação foram realizados com o objetivo principal de avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação.

Para obtenção dessas vazões foi realizado o seguinte procedimento:

- Vazões pelo Maciço: Determinou-se a linha freática associando esta à parábola teórica de KOZENY fazendo as correções de contorno. Foi adotado uma Anisotropia entre a permeabilidade horizontal e vertical igual a 9. Esse valor é recomendado pelo Prof^o Paulo Cruz, no seu livro



100 Barragens Brasileiras, para maciços terrosos compactados com altura até 20,00m.

Determinou-se a ordenada Y_0 da interseção da linha freática com o filtro vertical e aplicou-se a expressão para determinação da vazão por metro de barragem.

$$Q = \sqrt{K\eta * K_v * Y_0}$$

b) Vazões pela Fundação: Considerou-se que a camada até 10,00m dentro do maciço rochoso da fundação contribui com vazão para o tapete drenante.

Aplicou-se a expressão dada por:

$$Q = \gamma * K_f * h$$

onde:

q = vazão em $m^3/s \times m$

K = permeabilidade da fundação

h = carga hidráulica

γ = coeficiente que depende da relação B/Z

B = largura impermeável

Z = camada permeável adotada = 10,00m.

A permeabilidade vertical do maciço foi extraída dos ensaios de permeabilidade realizados nos furos das jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04. Os resultados desses ensaios são mostrados na quadro 5.2 abaixo:

**Quadro 5.2**

JAZIDA - 01		JAZIDA - 02		JAZIDA - 03		JAZIDA - 04	
FURO	K (cm/s)						
12	9,0 E-07	5	8,1 E-07	9	9,4 E-07	5	8,3 E-07
60	7,7 E-07	8	7,9 E-07	21	9,1 E-07	10	8,0 E-07
97	9,9 E-07	10	1,1 E-06	23	7,9 E-07	19	1,0 E-07
121	8,3 E-07	-	-	-	-	-	-
139	8,4 E-07	-	-	-	-	-	-
151	9,4 E-07	-	-	-	-	-	-

Adotou-se a permeabilidade vertical do maciço compactado igual a $7,5 \times 10^{-7}$ cm/s.

Para o maciço rochoso abaixo da barragem adotou-se uma permeabilidade de 10^{-5} cm/s.

Para a areia adotou-se uma permeabilidade de $5,0 \times 10^{-3}$ cm/s.

As vazões obtidas para dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna foram:

$$Q_{\text{maciço}} = 1,67 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 4,86 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

5.11. ANÁLISE DE RECALQUES

Os materiais que formam o corpo da barragem são submetidos a deformação elásticas devido a ação do peso próprio. A avaliação desses recalques tem a finalidade de corrigir a cota do coroamento da barragem para compensar o abatimento. Para determinação deste recalque adotou-se uma forma simplificada de cálculo descrita a seguir:

Dividiu-se o maciço, em sua seção máxima, em lamelas de 2,0m de espessura.

Para cada lamela determinou-se a tensão vertical no meio da camada.



Aplicou-se a expressão dada por:

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{\sigma_{mi}}{E_i} \cdot \Delta H$$

onde:

S	=	Recalque total em m.
σ_{mi}	=	Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm ²
ΔH_i	=	Espessura da lamela.
E_i	=	Módulo de elasticidade do material da lamela i.

O módulo de elasticidade foi obtido da análise das curvas de Tensão x Deformação, obtidos dos ensaios de compressão triaxial. Para facilidade de determinação, sem que isso implicasse em perda de precisão, optou-se pelo módulo secante.

Outro aspecto considerado foi a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem.

Considerando apenas as Jazidas J-02, J-03 e J-04 que comporá o núcleo e fundação da barragem, o peso específico aparente seco máxima obtido do ensaio de compactação é de 1,859 tf/m³ e a umidade ótima correspondente é de 13,23%. O peso úmido será de 2,104 tf/m³. Com base no peso úmido foram consideradas para efeito de tensão confinante, as seguintes tensões medidas em função da altura da barragem, tomando como referência o eixo Z, com zero no coroamento e orientação para baixo:

**Tabela Nº 5.12.: Tensão Confinante**

Z (m)	Tensão Confinante (kgf/cm ²)
Menor que 5,0m	1,0
Entre 5,0m e 10,0m	2,0
Maior que 10,0m	4,0

Com base nos resultados dos ensaios triaxiais, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Esses resultados são mostrados na Tabela 5.13.:

Tabela 5.13. – Modulo de Elasticidade

TENSÃO CONFINANTE (kgf/cm ²)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (kN/m ³)			
	J-02	J-03	J-04	Média
41,0	11.000	14.800	12.900	12.900
2,0	14.700	19.100	16.300	16.700
4,0	17.800	20.700	19.300	19.266

O recalque elástico esperado é de 212,46 mm. Esse rebaixamento do coroamento deve ser corrigido antes da colocação do revestimento primário.

5.12. INSTRUMENTAÇÃO

O projeto de instrumentação foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

- Verificar as pressões neutras nas fundações e corpo da barragem;
- Verificação dos deslocamentos da barragem;
- Verificação do nível d'água no reservatório;
- Verificação do nível d'água no canal de saída do Sangradouro.



Para verificação das pressões neutras na fundação da barragem e no corpo da barragem foi previsto a instalação de piezômetros tipo Casagrande em três seções, sendo duas situadas nas ombreiras, estacas 10 e 33, e uma na parte central, na estaca 13.

Em cada seção será colocado seis piezômetros mostrados no desenho III-6-31/31-000 do Tomo-3.

A verificação do deslocamento da barragem será feito colocando três marcos superficiais amarrados a marcos de referência para medidas de deslocamento horizontal e vertical. Os marcos superficiais serão colocados no coroamento da barragem nas estacas 15, 25 e 35. Os marcos fixo em número mínimo de três serão escolhidos no campo em locais seguros e indeslocáveis e deverão ser amarrados ao sistema de coordenadas da obra.

A verificação do nível do reservatório será feita colocando-se réguas linimétricas com 1,0m de comprimento.

A primeira régua terá o zero na cota do porão, ou seja, na cota 48,00m. Está previsto a, colocação de nove réguas no talude de montante. As réguas serão colocadas na estaca 13.

No canal do Sangradouro será colocado uma régua linimétrica, com 2,0 m de comprimento, para medição da vazão de sangria.

5.13. SANGRADOURO

Já na escolha do eixo da barragem ficou bastante evidenciado que o local do Sangradouro seria na ombreira esquerda da barragem devido a existência de um ponto de sela bem definido com cotas, também, apropriadas. Desta forma foi orientado no levantamento topográfico a fazer o levantamento desse local e, fazer o levantamento do canal de restituição.



Na execução das investigações de campo programou-se a realização de nove furos de sondagem mista com as características mostradas no quadro 5.3 mostrado a seguir:

QUADRO 5.3 – Investigações no Sangradouro

SONDAGEM	LOCALIZAÇÃO	PROFUNDIDADE	
		SOLO	ROCHA
SM-01	6 (30m/J)	8,0	6,0
SM-02	6 (EIXO)	1,60	6,10
SM-03	6 (30m/M)	0,65	7,35
SM-04	9 (30m/J)	1,05	7,15
SM-05	9 (EIXO)	2,45	9,05
SM-06	9 (30m/M)	0,50	9,50
SM-07	12 (30m/J)	0,80	8,30
SM-08	12 (EIXO)	1,07	7,93
SM-09	12 (30/M)	1,10	8,00

Examinando os perfis dessas sondagens verifica-se que a rocha está bem superficial na quase totalidade dos furos de forma que projetou-se para sangrador um canal escavado em rocha com 120,00m de largura. O destino do material rochoso escavado desse canal seria as obras de enrocamento da barragem (rip-rap e dreno de pé) e eventualmente para britagem.

A vazão prevista para passar nesse canal com tempo de recorrência de 1000 anos é de 459,00m³/s com lâmina vertente de 1,99m.

Não é necessário a execução de muros laterais tendo em vista que na cota da soleira a escavação é em rocha.

Devido a irregularidade das escavações, principalmente em rocha, foi previsto a execução de um cordão de concreto para fixação da cota da soleira.

5.14. TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 12. Ela consistirá de um tubo de aço ASTM-36 produzido com chapas de 5/16" no diâmetro de $\phi=500\text{mm}$ que será



envolvido por uma estrutura de concreto armado. A extensão da tubulação é de 90,00m. O eixo da galeria ficará na cota 75,50m. O dimensionamento foi feito de forma que na cota 80,00m, nível do volume de alerta, a galeria retire uma vazão de 0,370m³/s.

A barragem na cota do volume de alerta estará acumulando um volume de 3,03hm³ correspondente a 13% do volume total.

Está previsto a execução de duas caixas, uma de montante que terá uma grade de ferro e um crivo e a outra em jusante que terá três células. A primeira acomodará uma válvula borboleta e um registro de gaveta. A segunda terá um anteparo para dissipar o excesso de energia cinética. A terceira será um tanque tranquilizador que terá na saída um vertedouro triangular para medição de vazão.

As caixas serão construídas em concreto armado.

As peças especiais, crivo, válvula borboleta e registro de gaveta, serão todos de fabricação BARBARÁ ou similar com as seguintes referências:

CRIVO – TIPO CRI 10: com diâmetro de 500mm com flange de Ferro Dúctil NBR 6916, classe 42012 e crivo de chapa de Aço 1010/1020, perfurada.

VÁLVULA BORBOLETA: válvula com flange série AWWA com diâmetro $\phi=500$ mm com corpo e disco em FoFo com acionamento manual através de mecanismo de redução através de volante.

REGISTRO DE GAVETA: o registro de gaveta será com flanges com cunha de borracha, de corpo longo, com face a face igual ao das válvulas série métrica oval classe PN 16 com diâmetro de $\phi=500$ mm e acionamento do tipo direto.



MONTGOMERY WATSON



Os tubos serão de aço ASMT-36 produzidos de chapas de 5/16". Os tubos receberão flanges nos encontros com as peças de ferro fundido.

A galeria será operada normalmente na válvula borboleta ajustando a vazão no medidor de vazão.



MONTGOMERY WATSON



6. CANTEIRO DE OBRA



6. CANTEIRO DE OBRA

A área destinada ao canteiro de obra está localizada na ombreira direita, a jusante do eixo barrável, próximo do açude existente na fazenda do Sr. Otacílio Diógenes.

O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada existente, a qual deverá sofrer melhorias para comportar o tráfego durante as obras. O acesso ao canteiro é feito a partir desta estrada.

A instalação mínima para o canteiro de obra deverá ser composta dos seguintes elementos:

01	-	Escritório da Administração
02	-	Laboratório de solo e concreto
03	-	Depósito de cimento
04	-	Central de britagem
05	-	Posto de Abastecimento de combustível
06	-	Oficina Mecânica
07	-	Almoxarifado
08	-	Carpintaria
09	-	Ferraria
10	-	Armação e moldagem
11	-	Alojamento para pessoal de apoio
12	-	Eletrificação
13	-	Escritório de Supervisão



MONTGOMERY WATSON



7. CRONOGRAMA FÍSICO



7. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Riacho da Serra e com as características climáticas da Região, um prazo de 12 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a seqüência de execução dos serviços a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.

O cronograma de construção, em que são citados os serviços das obras com seus prazos mínimos de execução bem como o período do ano apropriado para desenvolvimento das atividades, é mostrado na figura 7.1.

Considerou-se na concepção do cronograma de construção que as obras de terraplenagem tem seu andamento prejudicado no período chuvoso do ano, devendo, portanto serem executadas no período de estiagem, ao passo que os trabalhos de concretagem poderão ser desenvolvidos em qualquer período do ano.

Tendo em vista estas condições, a construção da barragem deverá ser executada na seguinte seqüência:

- a) Execução do sangradouro;
- b) Execução da tomada d'água;
- c) Execução da barragem;
- d) Execução da drenagem superficial e instrumentação.

Assim, o programa de construção desenvolver-se-á conforme descrito a seguir:

Período de Janeiro a Maio

- a) Escavação do Sangradouro;
- b) Escavação do Canal da Tomada D'Água;



Período de Junho a Julho

- a) Conclusão do Sangradouro;
- b) Execução da Tomada D'Água;
- c) Início do Cut-Off da Barragem;

Período de Agosto a Dezembro

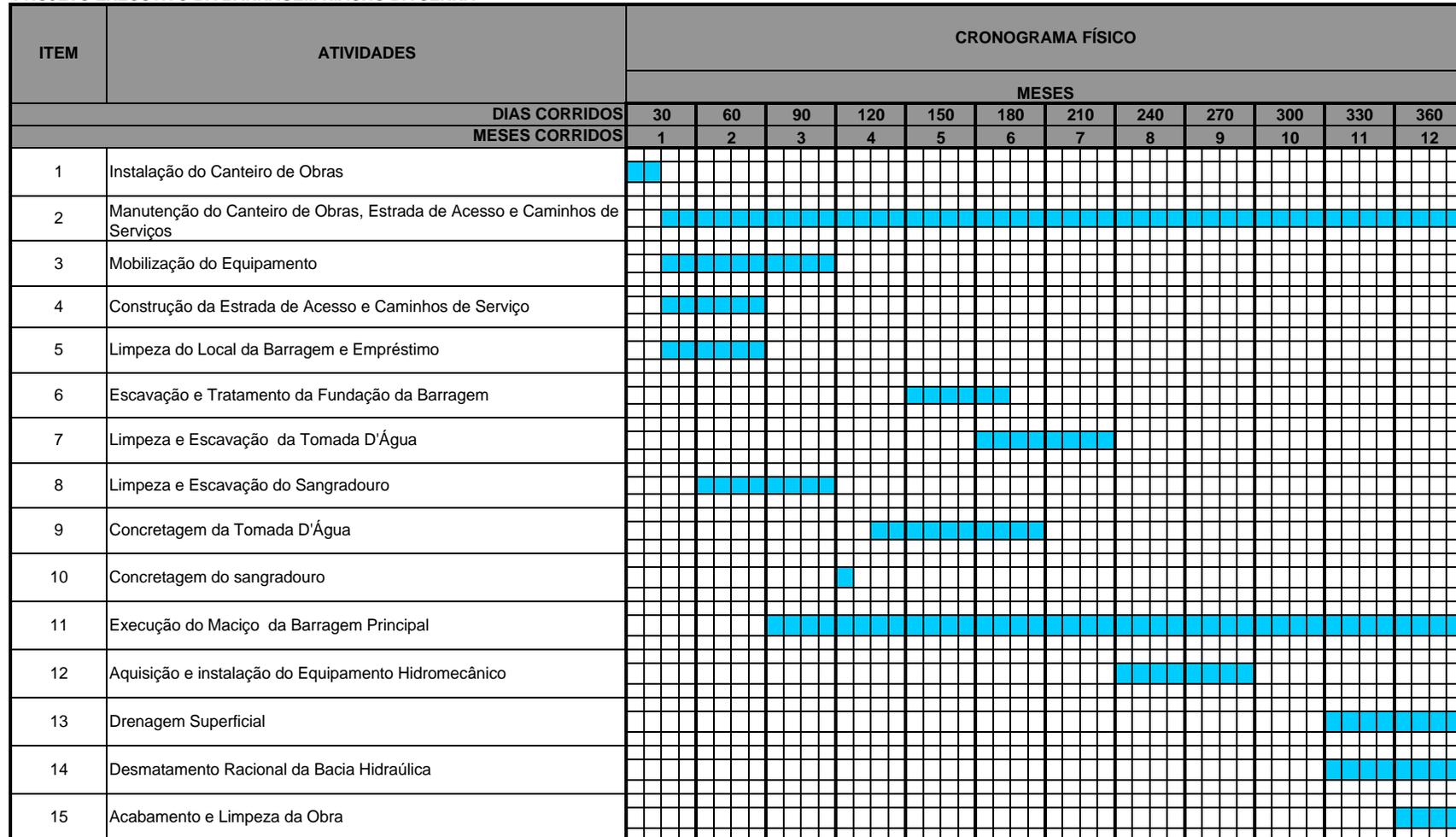
- d) Conclusão do Enchimento do Cut-Off;
- e) Início e Conclusão da Barragem;
- f) Execução do Revestimento do Coroamento;
- g) Execução da Drenagem Superficial;
- h) Execução da Instrumentação.



FIGURA 7.1 - CRONOGRAMA FÍSICO

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ - SRH/CE

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA





MONTGOMERY WATSON



8. EQUIPAMENTO MÍNIMO



8. EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do cronograma de implantação previsto no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento indicada na lista a seguir:

8.1 RELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS MÍNIMO

1.	Trator de esteiras com potência igual ou superior a 270HP	02
2.	Trator de esteiras com Potência igual ou superior a 140HP	02
3.	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	03
4.	Carregadeira frontal com potência igual ou superior a 170HP	04
5.	Motoniveladora com Potência igual ou superior a 125HP	03
6.	Caminhão basculante com capacidade igual ou superior a 6m ³	10
7.	Betoneiras com capacidade mínima de 320l	03
8.	Caminhão pipa com capacidade igual ou superior a 6000l com irrigadeira	04
9.	Rolo compactador autopropelido vibratório pé-de-carneiro de 10 ton ou similar	03
10.	Rolo liso autopropelido vibratório de 10ton ou similar	01
11.	Retro-escavadeira com capacidade igual ou superior a 0,6m ³	02
12.	Conjunto de britagem com capacidade igual ou superior a 20m ³ /h	02
13.	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	02
14.	Compressor de ar portátil c/ capacidade superior a 250pcm	01
15.	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm (pés cúbicos por minuto)	02
16.	Grade de disco com capacidade de 20 discos de 24"	02
17.	Sapo mecânico	02
18.	Marteletes de 24Kg	04
19.	Sonda percussiva e amostrador Denison	01
20.	Sistema completo para rebaixamento do lençol freático	01

Consórcio



MONTGOMERY WATSON

