

BARRAGEM MAMOEIRO

MÓDULO IV – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM
VOLUME I – DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO
TOMO 1 – MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

EDITADO EM AGOSTO DE 2006

ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	6
1 - INTRODUÇÃO	10
2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	17
3 - ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS	20
3.1 - Cartografia	20
3.2 - topografia.....	20
3.2.1 - Levantamento do Eixo Barrável e do Vertedouro.....	20
3.2.1.1 - Locação dos eixos e Implantação de Marcos.....	21
3.2.1.2 - Nivelamento.....	21
3.2.1.3 - Levantamento de Seções Transversais.....	22
3.2.2 - Levantamento do Canal de Restituição.....	22
3.2.2.1 - Locação	22
3.2.2.2 - Nivelamento e Levantamento de Seções Transversais.....	22
3.2.3 - Coordenadas e Cotas.....	22
3.3 - investigações geológicas e geotécnicas.....	23
3.3.1 - Investigações Geológicas.....	23
3.3.1.1 - Geologia Regional	23
3.3.1.2 - Geologia Local.....	26
3.3.2 - Investigações Geotécnicas.....	27
3.3.2.1 - Descrição das Sondagens Executadas	29
3.3.2.2 - Sondagens a Pá e Picareta	29
3.3.2.3 - Sondagens a Percussão.....	29
3.3.2.4 - Sondagens Mistas	29

3.3.3 - Ensaio In Situ	30
3.3.3.1 – Ensaio de Permeabilidade com Carga Constante	30
3.3.3.2 – Ensaio de Perda D’Água Específica	30
3.3.4 - Pesquisa de Jazidas	32
3.3.4.1 – Jazidas de Solo (Empréstimos 1, 2, 3, 4 e 5)	32
3.3.4.2 – Jazidas de Areia (Areal 1)	34
3.3.4.3 – Pedreira	35
3.3.5 - Ensaio de Laboratório	35
3.4 – hidrologia	36
3.4.1 - Característica Física da Bacia Hidrográfica	36
3.4.2 - Estudo de Cheias	37
3.4.2.1 – Metodologia	37
3.4.2.2 – Precipitação	38
3.4.2.3 – Precipitação Efetiva	39
3.4.2.4 – Hidrograma Unitário – SCS	41
3.4.3 - Curvas de Regulação do Reservatório	43
3.4.3.1 – Metodologia	44
3.4.3.2 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico	44
3.4.3.3 – O Diagrama Triangular de Regularização	46
3.4.3.4 – Resultados.....	47
3.4.4 - Dimensionamento do Vertedouro	49
3.4.4.1 – Propagação da Cheia no Reservatório.....	50
3.4.4.2 – Resultados.....	51
3.4.5 - Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos	55

4 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA	58
5 - DESCRIÇÃO DO PROJETO	60
5.1 – generalidades	60
5.2 – Relação de desenhos	60
5.3 – Escolha do tipo de barragem.....	61
5.4 – características do terreno da fundação da barragem	62
5.5 – Local de bota-fora.....	65
5.6 – rebaixamento do lençol freático.....	65
5.7 – tratamento das fundações	66
5.8 – sistema de drenagem	66
5.9 – materiais de construção.....	66
5.10 – características do barramento	66
5.11 – Tomada d’água.....	68
5.12 – dimensionamento do VERTEDOURO	69
5.12.1 - Dimensionamento da Bacia.....	71
5.12.2 - Dimensionamento dos Chumbadores.....	75
5.13 – análise de estabilidade	76
6 - CANTEIRO DE OBRA.....	78
7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO.....	80

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O consórcio KL – Serviços de Engenharia S/S Ltda, MABE – Infra-Estrutura e Serviços Ltda e ENERCONSULT S/A, no âmbito do contrato Nº11/PROGERIRH/CE/SRH/2003 do Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – PROGERIRH tem por finalidade a Elaboração dos Estudos de Viabilidades Técnicas, Ambientais, Econômicas, Eias - Rimas, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais e Planos de Reassentamentos de Populações, Manuais de Operação e Manutenção e Avaliação Financeira e Econômica referentes às Barragens: Mamoeiro, Riacho do Meio, Melancia, Jucá e Jatobá e Adutoras de Antonina do Norte, Granjeiro e Ipueiras.

Os estudos desenvolvidos, em atendimento aos Termos de Referência, são constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em Módulos, Volumes e Tomos. As partes e tomos que compõem o acervo do contrato são apresentados na seqüência:

Módulo I: Estudos de Alternativas de Localização das Barragens e Adutoras

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

Módulo II: Estudos Básicos, Anteprojetos e Avaliações

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Relatório Geral – Textos

TOMO 2 – Estudos Hidrológicos

TOMO 3 – Estudos Cartográficos

TOMO 4 – Estudos Geológicos e Geotécnicos

Tomo 5 – Estudos Pedológicos

VOLUME II: Anteprojetos

TOMO 1 – Relatório de Concepção Geral

TOMO 1A – Desenhos e Plantas

TOMO 1B – Memória de Cálculo

VOLUME III: Avaliações Financeiras e Econômicas

TOMO 1 – Relatório de Avaliações Financeira e Econômica

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

VOLUME I: EIA

VOLUME II: RIMA

Módulo IV: Projeto Executivo da Barragem

VOLUME I: Detalhamento do Projeto Executivo

TOMO 1 – Memorial Descritivo do Projeto

TOMO 2 – Desenhos do Projeto

TOMO 3 – Memória de Cálculo

TOMO 4 – Especificações Técnicas

TOMO 5 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 6 – Síntese

Módulo V: Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento

VOLUME I: Levantamento Cadastral

TOMO 1 – Relatório Geral

TOMO 2 – Laudos Individuais de Avaliação

TOMO 3 – Levantamentos Topográficos

VOLUME II: Plano de Reassentamento

TOMO 1 – Relatório Final do Reassentamento

Módulo VI: Projeto Executivo das Adutoras

VOLUME I: Estudos Básicos

TOMO 1 – Levantamentos Topográficos

TOMO 2 – Investigações Geotécnicas

VOLUME II: Anteprojeto

VOLUME III: Detalhamento do Projeto Executivo

TOMO 1 – Memorial Descritivo

TOMO 2 – Memória de Cálculo

TOMO 3 – Quantitativos e Orçamentos

TOMO 4 – Especificações Técnicas e Normas de Medições

Módulo VII: Elaboração dos Manuais de Operação e Manutenção

VOLUME I: Manuais de Operação e Manutenção

O presente relatório que trata da **Barragem Mamoeiro**, aqui nomeado como Volume I – Detalhamento do Projeto Executivo, **Tomo 1 – Memorial Descritivo do Projeto**, é parte integrante do Módulo IV – Projeto Executivo da Barragem.

1 - INTRODUÇÃO

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

Neste volume que corresponde ao TOMO 1 do VOLUME I é apresentado o Memorial Descritivo do Projeto.

Este relatório de concepção foi desenvolvido abordando os seguintes capítulos:

- Localização e Acessos;
- Análise dos Estudos Básicos;
- Investigações Geológicas e Geotécnicas;
- Alternativas Examinadas e Justificativa da Opção Escolhida;
- Descrição do Projeto;
- Canteiro de Obra;
- Equipamento Mínimo.

A seguir é mostrado a Ficha Técnica da Barragem Mamoeiro onde se discrimina os principais elementos técnicos.

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM MAMOEIRO

Identificação

Denominação:.....Barragem Mamoeiro

Estado:.....Ceará

Município:.....Antonina do Norte

Rio Barrado:.....Riacho Conceição

Coordenadas UTM (SAD-69):.....E(X)=381.909; N(Y)=9.249.443

Proprietário:.....SRH/CE

Autor do Projeto:.....Consórcio KL Engenharia, MA/BE e Enerconsult

Data do Projeto:.....Julho/2006

Bacia Hidrográfica

Área da Bacia Hidrográfica Total:.....1.887,6km²

Perímetro da Bacia Hidrográfica.....222,47km

Fator de Compacidade.....1,44

Fator de Forma.....0,16

Tempo de Concentração.....21,03h

Declividade Média:.....3,72m/km

Comprimento do Rio Principal:.....107,63km

Pluviosidade Média Anual:.....618,2mm

Evaporação Média Anual:.....2.493,6mm

Evapotranspiração Potencial (Hargreaves):.....1.874,2mm

Insolação Média Anual:.....2.624,3h

Umidade Relativa Média Anual:.....64,2%

Temperatura Média Anual: Média das Máximas.....30,7°C

Temperatura Média Anual: Média das Médias24,1°C

Temperatura Média Anual: Média das Mínimas.....20,1°C

Classificação Climática:DS2A'a'

Classificação Climática Segundo Koeppen:.....BWx'

Características do Reservatório

Área da Bacia Hidráulica (cota 355,0m):.....369,05ha

Volume Acumulado (cota 355,0m):.....20,68hm³

Volume Afluente Médio Anual:.....6,786hm³/ano

Vazão Regularizada (90%):.....0,14m³/s

Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):.....2.466,00m³/s

Vazão Máxima de Projeto Amortecida (TR=10.000 anos):.....3.310,00m³/s

Nível d'água Máximo (TR=1.000 anos):.....361,00m

Nível d'água Máximo Maximorum (TR=10.000 anos).....362,30m

Barragem Principal – Tipo CCR

Altura.....27,50m

Largura do Coroamento:.....6,50m

Extensão pelo Coroamento:.....348,00m

Cota do Coroamento:.....361,50m¹

Largura Máxima da Base:.....23,72m

Tomada D'Água

Tipo:.....Tubo Flangeado em Aço Carbono Envelopado por Galeria de Concreto

Diâmetro:.....1- ϕ =300mm

Cota do Eixo da Tubulação:.....346,55m

Controle de Montante:.....Comporta Stop-Log com Acionamento Manual

Controle de Jusante:

Registro de Gaveta:.....1- ϕ =300mm

Válvula Borboleta:.....1- ϕ =300mm

Volume Morto (cota 338,00m):.....4.447,2m³

Vertedouro

Tipo:.....Perfil Creager, Canal Rápido e Bacia de Dissipação

Soleira:

Cota:.....355,00m

Largura:.....80,00m

Bacia de Dissipação:

Cota:.....334,50m

Largura:.....80,00m

Extensão:.....20,00m

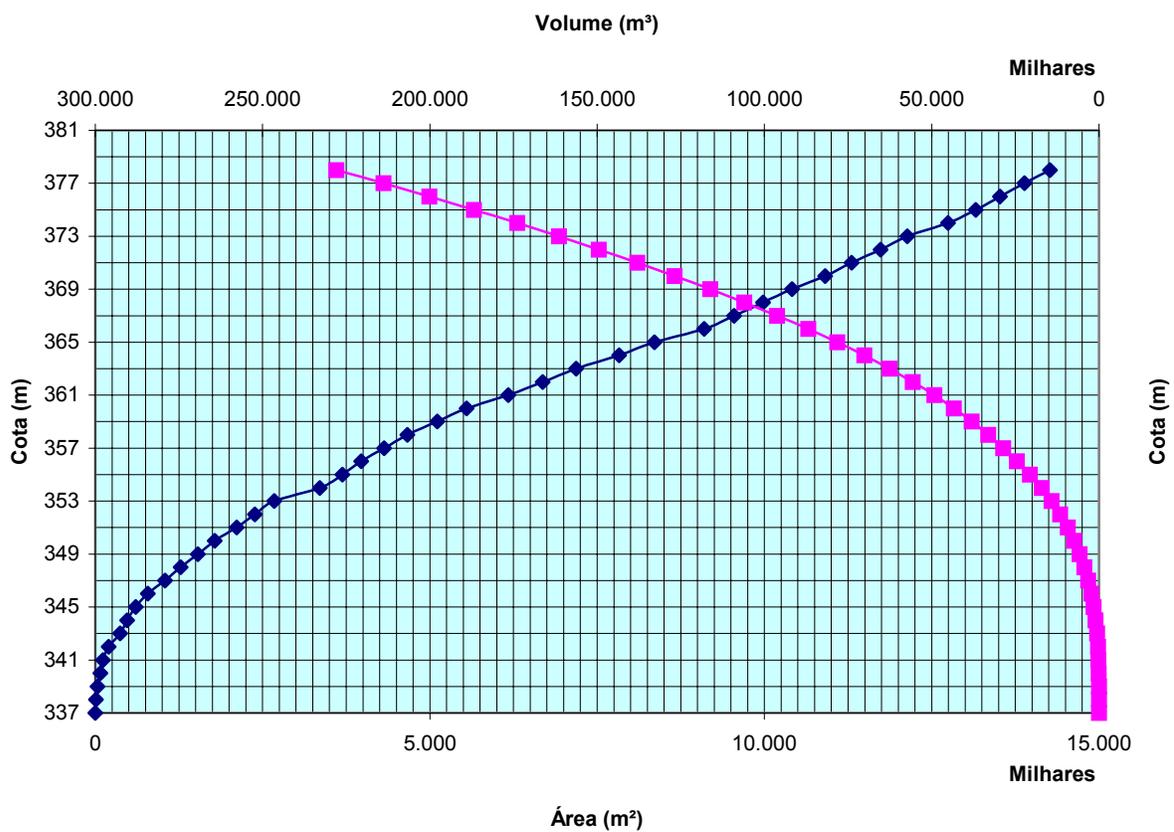
Os dados da Curva Cota x Área x Volume são mostrados no **Quadro N°1.1** e a Curva é mostrada no **Gráfico N°1.1**.

Quadro N°1.1: Curva Cota x Área x Volume		
Cota (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
337,0	0	0,00
338,0	8.894,37	4.447,19
339,0	33.120,74	25.454,74
340,0	77.443,31	80.736,77
341,0	112.114,56	175.515,70
342,0	200.962,71	332.054,34
343,0	372.091,75	618.584,57
344,0	476.288,11	1.042.777,50
345,0	604.755,36	1.583.299,23
346,0	786.487,14	2.278.920,48
347,0	1.042.971,50	3.193.649,80
348,0	1.276.814,25	4.353.542,68
349,0	1.533.025,28	5.758.462,44
350,0	1.786.307,93	7.418.129,05
351,0	2.111.705,90	9.367.135,96
352,0	2.386.054,30	11.615.016,06
353,0	2.676.158,33	14.147.122,38
354,0	3.352.667,36	17.161.535,22
355,0	3.690.515,19	20.683.126,50
356,0	3.972.499,94	24.514.634,06

¹ Veja as considerações no item 5.10.

Quadro Nº1.1: Curva Cota x Área x Volume		
Cota (m)	Área (m²)	Volume (m³)
357,0	4.316.628,64	28.659.198,35
358,0	4.662.266,08	33.148.645,71
359,0	5.111.997,84	38.035.777,67
360,0	5.548.045,52	43.365.799,85
361,0	6.172.575,37	49.226.110,80
362,0	6.685.627,86	55.655.212,41
363,0	7.187.097,51	62.591.575,10
364,0	7.830.147,70	70.100.197,70
365,0	8.358.895,88	78.194.719,49
366,0	9.097.592,23	86.922.963,55
367,0	9.547.312,34	96.245.415,83
368,0	9.980.904,72	106.009.524,36
369,0	10.410.160,53	116.205.056,99
370,0	10.906.611,04	126.863.442,77
371,0	11.304.531,23	137.969.013,91
372,0	11.735.411,09	149.488.985,07
373,0	12.137.529,58	161.425.455,40
374,0	12.745.844,57	173.867.142,48
375,0	13.156.751,18	186.818.142,48
376,0	13.520.893,78	200.157.262,83
377,0	13.886.534,92	213.860.977,18
378,0	14.268.642,59	227.938.565,94

Gráfico Curva Cota Área Volume



2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O sítio do barramento fica localizado no Riacho Conceição, nas proximidades da localidade de Várzea Nova (Vila Luziana), no município de Antonina do Norte. Na verdade o riacho Conceição forma a divisa dos municípios de Antonina do Norte e Aiuaba.

O acesso ao local pode ser feito de duas formas a saber. A primeira opção é feita partindo-se de Fortaleza pela BR-116 seguindo-se até a cidade de Icó. Esse trajeto é feito percorrendo-se 370 km. De Icó segue-se pela CE-282, por mais 50 km, até chegar à cidade de Iguatu. De Iguatu segue-se pela CE-284 até a cidade de Antonina do Norte. Desta segue-se pela CE-176 por 7,3 km. Daí toma-se à esquerda por uma estrada carroçável para o vilarejo de Várzea Nova (Vila Luziana), cerca de 4,0 Km. Desta localidade, seguindo a estrada carroçável, cerca de 6,0 Km, chega-se nas opções de eixo. A segunda alternativa de acesso é feita pela BR-116 até o entroncamento desta com a CE-060. Esse percurso é feito percorrendo-se 69 km. Deste ponto, conhecido como Triângulo Quixadá, segue pela CE-060 até a cidade de Iguatu, percorrendo mais 230 km de Iguatu até a obra segue-se o mesmo roteiro da primeira alternativa.

Na **Figura 2.1** é apresentado o mapa de localização e acesso.

3 – ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS

3 – ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS

Neste capítulo é apresentado a Análise dos Estudos Básicos.

3.1 – CARTOGRAFIA

Os estudos cartográficos consistiram no levantamento aerofotogramétrico na área do reservatório da Barragem Mamoeiro, enquadrada geograficamente nas coordenadas 6°45' – 6°52' S e 40°01' – 40°11' WGR.

Os serviços cartográficos realizados foram os seguintes:

- Cobertura aerofotogramétrica de uma área de 125,87 km², na escala de 1:15.000;
- Implantação do apoio básico com 2 marcos de concreto;
- Apoio fotogramétrico de 125,87 km² voado com levantamento de 17 HV's;
- Aerotriangulação de 29 modelos, perfazendo uma área de 125,87 km²;
- Restituição estereofotogramétrica digital de uma área de 14,50 km² na escala de 1:5.000;
- Confeção e edição final de 8 plantas topográficas na escala de 1:5.000, perfazendo um total de 14,50 km² de edição cartográfica.

3.2 – TOPOGRAFIA

Os estudos topográficos da Barragem Mamoeiro constituíram na execução dos seguintes serviços, a saber:

- Levantamento do Eixo Barrável e do Vertedouro;
- Levantamento do Canal de Restituição;
- Coordenadas e Cotas.

3.2.1 – Levantamento do Eixo Barrável e do Vertedouro

O eixo da Barragem Mamoeiro foi locado em um boqueirão com características topográficas favoráveis, onde o Vertedouro foi definido e estudado em uma sela topográfica situada na ombreira esquerda, a cerca de 510,00 metros da estaca 00 do eixo da barragem.

Os levantamentos topográficos do eixo barrável e do Vertedouro, foram executados através de locação de Estação Total, pelo método de coordenadas com identificação dos eixos: Este, Norte, elevação e descrição dos pontos identificados. Os serviços realizados foram: locação; implantação de marcos para futura relocação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

3.2.1.1 – Locação dos eixos e Implantação de Marcos

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

Para locação do eixo barrável foi utilizado o marco MA-01 com referência no marco MA-02, com uma deflexão de $167^{\circ} 45' 25''$ e uma distância de 46,20 metros, locando-se assim a estaca-00, localizada na ombreira esquerda, para melhor locação do eixo se fez necessária uma deflexão de $11^{\circ} 21' 25''$, seguindo-se até a estaca 35+0,23, e no sentido oposto a partir da estaca -01 seguindo até o eixo do Vertedouro, estaca E513+6,15, coincidente com a estaca -27, totalizando uma extensão de 1.240,58 metros.

O eixo do Vertedouro levantado inicialmente possui estaqueamento no mesmo sentido, isto é, o estaqueamento cresce da esquerda para a direita, partindo da estaca E500 e finalizando na estaca E513+6,15, e complementado posteriormente da estaca E500 até a estaca E5-03, perfazendo um total de 326,15 metros de extensão.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
MA-01	-	381.909,806	9.249.443,228
MA-02	-	382.478,569	9.249.536,267

3.2.1.2 – Nivelamento

O levantamento altimétrico da Barragem Mamoeiro e o seu respectivo Vertedouro, foi realizado utilizando-se GPS e Estação Total, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado.

3.2.1.3 – Levantamento de Seções Transversais

Foram levantadas seções transversais ao eixo da barragem e do Vertedouro a cada 20 metros abrangendo uma faixa de domínio com largura de 150 metros à montante e à jusante, e se constituíram de pontos cotados a cada 10 metros, considerando também os pontos de destaque do relevo topográfico.

3.2.2 – Levantamento do Canal de Restituição

Assim como o eixo barrável e o Vertedouro, o canal de restituição da Barragem Mamoeiro, foi levantado plani-altimetricamente através de Estação Total, pelo método de coordenadas com identificação dos eixos: Este, Norte, elevação e descrição dos pontos identificados. Os serviços topográficos executados no canal de restituição, foram os seguintes: locação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

3.2.2.1 – Locação

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

A partir da estaca 02 do eixo do Vertedouro, foi locada a poligonal do canal de restituição, partindo da estaca S0 até a estaca –S13+10,26 metros, à montante, e da estaca S0 a estaca S62+7,65 metros, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até o Rio, totalizando 1.517,91 metros de extensão.

3.2.2.2 – Nivelamento e Levantamento de Seções Transversais

Utilizando-se o mesmo equipamento citado no item anterior, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, através de seccionamento a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 10 metros. A partir desse levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro.

3.2.3 – Coordenadas e Cotas

Em relação às coordenadas utilizadas para o levantamento, estas foram fornecidas pela TOPOCART, empresa responsável pelos serviços cartográficos.

Também foram utilizadas cotas fornecidas pela TOPOCART, empresa responsável pelos serviços cartográficos.

3.3 – INVESTIGAÇÕES GEOLÓGICAS E GEOTÉCNICAS

As investigações executadas para caracterização geológico-geotécnica da região das obras, foram divididas em duas fases, a saber: estudos geológicos de superfície e investigações geotécnicas de subsuperfície.

Os estudos geológicos de superfície constaram do mapeamento geológico do sítio barrável, área do Vertedouro e estudos de reconhecimento superficial dos materiais a serem utilizados na construção da barragem e estruturas adjacentes.

As sondagens de subsuperfície efetuadas ao longo do sítio barrável, área do Vertedouro e jazidas de materiais terrosos e arenosos consistiram na Abertura de Poços de Inspeção a Pá e Picareta (SPP), Sondagens a Percussão (SP), Sondagens Mistas (SM) e Sondagens Rotativas (SR) com ensaios “in situ” do tipo Perda d’água Específica e Permeabilidade com carga constante (LE FRANC).

É interessante ressaltar que, quando da execução das investigações geotécnicas, houve extração de amostras deformadas de solo do eixo barrável e das jazidas, de modo a se proceder às análises de laboratório indispensáveis à caracterização dos materiais existentes na região.

Todos os procedimentos utilizados seguiram as normas preconizadas pela ABNT.

3.3.1 – Investigações Geológicas

A seguir serão apresentados os resultados do estudo geológico realizado.

3.3.1.1 – Geologia Regional

A descrição da Geologia Regional (área da bacia hidráulica e Adjacências) é apresentada neste relatório com base em pesquisa bibliográfica de trabalhos de geologia realizados na região, tendo como fonte o Mapa Geológico do Estado do Ceará, em escala 1:500.000, elaborado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) em convênio com o Governo do Estado do Ceará, em 1983.

A feição morfológica dominante na área é o extenso pediplano com cotas que variam entre 300 a mais de 500 m, entalhados por erosão diferencial sobre migmatitos, gnaisses e granitos porfiróides, onde sobressaem alguns testemunhos de erosão através de cordões de serra, formadas por rochas laminadas tectonicamente, destacando-se a Serra dos Bastiões, limitada por escarpas de falha, exibindo “slicken-sides” e outras manifestações cataclásticas.

As unidades litoestratigráficas mapeadas na região segundo o Projeto Jaguaribe (Folha Iguatu - SB.24-Y-B, escala 1:250.000), evidenciam a predominância de rochas cristalinas pré-cambrianas, e foram agrupadas segundo critérios tectono-estruturais e associações litológicas, sem que haja uma diferenciação cronológica, caracterizando unidades pertencentes ao pré-cambriano indiferenciado estratigraficamente.

Pré-Cambriano Indiferenciado Estratigraficamente - PI(B): Esta unidade é constituída por uma associação complexa de migmatitos e gnaisses diversos, encerrando jazimentos subordinados de corpos metacalcários, anfibolitos, rochas calciosilicáticas e quartzitos. Os gnaisses apresentam-se laminados, algo migmatizados, gradando para anfibolitos. A biotita-quartzo-feldspato gnaissite exibe tonalidades cinza-claro a cinza médio e cinza-escuro. A estrutura normalmente mostra uma intercalação de bandas escuras, enriquecidas em máficos, com bandas claras, quartzo-feldspáticas. A granulação é principalmente equigranular média podendo variar para fina. Os gnaisses próximos às zonas de falha exibem porfiroblastos estirados de feldspatos, caracterizando os gnaisses facoidais. Os quartzitos ocorrem dispersos, sob a forma de lentes, encaixadas concordantemente ao lineamento das rochas gnáissicas e migmatíticas. Exibem tonalidades esbranquiçadas, granulação que varia de média a grossa, laminadas, quando micáceas. Sua ocorrência abrange a totalidade da bacia hidráulica.

As estruturas regionais são designadas como lineamentos e/ou zonas de cisalhamento. De um modo geral, os lineamentos, representando extensas zonas de falhas, Falha de Jordão e Falha de Limoeiro, são recobertos por sedimentos mesocenozóicos, que deixam entrever tal assertiva, pelo alinhamento de drenagem em visível continuidade com as linhas de falhas desenvolvidas em terrenos adjacentes.

Diques Ácidos (PSy): Nesta unidade, situados ao norte da área em estudo, próximo a Aiuaba, e ao sul, próximo a Assaré, ocorrem maciços granitóides, incluindo os tipos porfiróides e equigranulares, formando corpos alongados, concordantes com o “trend” regional. Além de textura porfiróide, caracterizam-se por apresentar coloração cinza a rósea com termos leucocráticos e mesocráticos, e teores de quartzo bastante baixos em relação ao normal. Os contatos com as rochas encaixantes são quase sempre transicionais, predominando nos bordos destes maciços estruturas migmatíticas, com bastante enclaves dioríticos e gnáissicos. Na porção mais ao sul, na escarpa formada pela Serra dos Bastiões, o contato com as rochas do Complexo Caicó é marcado pela Falha de Tatajuba, ocorrendo de forma brusca, com notável desenvolvimento de cataclase. Nesse local a feição morfológica se desenvolve de forma mais expressiva, com altitude acima de 600m. Geralmente as rochas desta unidade formam matacões quando intemperizados, devido a fraturas subperpendiculares a sua orientação, às vezes formando pequenas elevações.

Os veios de quartzo e de sílica cripto-cristalina geralmente formam cristas alongadas e finas, sob a forma de diques ácidos, mostrando-se bastante fraturados; são de cor creme ou branca leitosa e exibem uma granulação microcristalina ou afanítica. Devido à degradação mecânica, facilitada pelo fraturamento, o solo, em torno destas rochas é coberto por pedregulho quartzoso. Os pegmatitos não são mapeáveis. Estão preenchendo, preferencialmente, fraturas com as direções NW, NE ou N-S. Contêm grande quantidade de feldspatos e quartzo.

Os diques básicos são pertencentes ao Jurássico. Esta unidade é constituída de rochas filonianas básicas de direção predominantemente NE – SW, ocorrendo na porção sul da área em estudo. Afloram sob forma de blocos arredondados, em parte alterados, produzindo solos de coloração cinza e avermelhada.

A seqüência estratigráfica desta unidade faz limite com as rochas do Pré-Cambriano Indiferenciado PI(B) mas, não fazem parte das litologias encontradas dentro da bacia hidráulica.

Coberturas Arenosas Inconsolidadas (TQc): Representam testemunhas da superfície de aplainamento terciário-quadernária, formando tabuleiros de topo plano, resultantes da alteração *in situ* de rochas cristalinas. Detalhes da estrutura da rocha original e veios ácidos são preservados na parte mais inferior do depósito, que é composto de material areno-silto-argiloso-ferruginoso inconsolidado. Os minerais mais estáveis encontram-se dispersos sob a forma de grãos e grânulos angulosos no seio da massa alterada. A parte superior é mais homogênea, com características de depósito colúvio-eluvial.

Aluviões (Qha): De idade quadernária, as aluviões estão mapeadas ao longo das calhas dos rios principais constituindo faixas alongadas. Nas áreas de relevo mais acidentado, as aluviões são escassas, limitadas a faixas estreitas e delgadas do leito apertado dos rios e riachos, formados por sedimentos compostos de areias grosseiras até cascalhos. Nas faixas mais desenvolvidas, tendo como destaque o Riacho Conceição, que é um importante contribuinte do Rio Jaguaribe, forma-se um vale mais alargado, com terraços marginais inundáveis durante os períodos de enchentes, contendo areias puras de granulação fina a média, areias siltosas e argilosas e, muitas vezes horizontes predominantemente argilosos. No leito tem-se areias mais grosseiras, em geral quartzosas, e concentrações de cascalhos.

Quanto ao aspecto estrutural, as unidades de rochas pré-cambrianas da área mostram-se intensamente dobradas, com disposição geral NE-SW, compartimentadas em blocos falhados e deslocados por movimentos horizontais relativamente dominantes. É um desenvolvimento típico de superposição de esforços tectônicos,

salientando-se grandes falhamentos, que adaptaram as estruturas antigas aos novos esforços compressivos cisalhantes de direção NW-SE. São destaques na área os blocos formados pela Falha de Jordão e Falha de Limoeiro (de movimentação normal) e ainda a Falha de Tatajuba (de empurrão ou inversa), esta última responsável pelo truncamento das estruturas pré-cambrianas, separando dois compartimentos tectônicos distintos.

Especificamente, a Falha de Jordão, por estar situada estruturalmente cortando a bacia hidráulica, e principalmente o eixo barrável, nas proximidades da estaca 15 até a estaca 22, na direção NE/SW, apresenta as características típicas de zona de falha, onde os gnaisses e migmatitos se mesclam em um contato indefinido, impossibilitando uma demarcação do contato entre as referidas litologias, além de apresentar estruturas deformadas e dobramentos, fruto dos esforços tectônico-estruturais.

A hidrografia da região denota um regime periódico e muito irregular típico do semi-árido nordestino. Os rios e riachos pertencem ao sistema da bacia do Rio Jaguaribe, cuja drenagem, bastante densa, foi quase completamente talhada em rochas pré-cambrianas, e destaca-se como principal afluente na área, o riacho Conceição. A drenagem é essencialmente dendrítica, e condicionada aos elementos estruturais.

3.3.1.2 – Geologia Local

O sítio da barragem em estudo está inserido em uma área de predominância das rochas cristalinas do Pré-Cambrianas Indiferenciado Estratigraficamente PI(B). Estas rochas apresentam foliação orientada predominantemente segundo NE-SW, concordante com a direção regional, com mergulhos acentuados (60° a 75°) para SE. O fluxo do riacho Conceição se dá na mesma direção da foliação, representando um aspecto negativo quanto à estanqueidade do barramento no substrato rochoso. Outro aspecto de preocupação, com relação à estanqueidade, é o fato de que o eixo locado situa-se em local de intensa movimentação tectônica, e coincide com o lineamento da Falha de Jordão, cujas características foram descritas na Geologia Regional.

As ocorrências petrográficas exibem rochas gnáissicas com bandeamento, apresentando, em alguns locais, porções migmatizadas com estruturas planares bem desenvolvidas, com textura um pouco mais grosseira, cor cinza, exibindo dobramentos e microdobramentos desarmônicos. Os constituintes básicos do paleossoma são biotita, quartzo e hornblenda, com predominância da biotita, intercalados com veios ou agregações quartzo-feldspática e pegmatóide que constituem a porção neossomática.

Há ocasiões em que a concentração de minerais máficos, principalmente a biotita, é predominante, dando à rocha um aspecto homogêneo de coloração cinza

escura, mascarando a foliação. Na porção neossomática ocorrem em abundância grandes concentrações de feldspato, principalmente o plagioclásio, em forma de cristais grandes (pórfiros) e pequenos porfiroblastos ou fenocristais de microclina, por vezes evidenciando movimento, característico de zona de falha. Há também ocorrências que evidenciam rocha com estrutura xistosa, de granulometria média, mesocrática, de cor cinza, contendo bastante mica (biotita) em forma de lamelas desenvolvidas, micro-encurvadas, muitas vezes bordejando os cristais de feldspatos, dando à rocha uma característica que permite classificá-la como biotita-xisto.

Na parte baixa dos boqueirões, nas margens do riacho Conceição, estão restritos os sedimentos aluviais representativos no local do sítio barrável, sob a forma de solos silto-arenosos do período Terciário e estendem-se por toda a extensão do riacho, desenvolvendo planícies aluviais (várzeas) sujeitas a inundações.

Na área onde está localizada a calha do riacho Conceição, ocorrem os depósitos de aluviões recentes, do período Quaternário, em forma de pequenos e médios bancos de areia medianamente graduada, fofa à compacta, granulometria média e grossa, com pedregulho, de coloração cinza-clara a creme e apresentam pequena espessura, devido à grande ocorrência de afloramentos de migmatitos e gnaisses diversos.

3.3.2 – Investigações Geotécnicas

No **Quadro N°3.3.1** são apresentados os resultados da investigação geotécnica realizada na Barragem Mamoeiro.

Quadro N°3.3.1.: Locação das Sondagens Executadas			
Furo	Local	Coordenadas UTM (SAD-69)	
		N (Y)	E (X)
SPP-01	Eixo Locado	9.249.461,575	382.063,679
SPP-02	Eixo Locado	9.249.465,107	382.083,365
SPP-03	Eixo Locado	9.249.472,167	382.122,737
SP-04	Eixo Locado	9.249.479,228	382.162,109
SPP-05	Eixo Locado	9.249.507,148	382.319,653
SPP-06	Eixo Locado	9.249.510,523	382.339,366
SPP-07	Eixo Locado	9.249.513,901	382.359,079
SM-01	Eixo Locado	9.249.482,754	382.181,795
SM-02	Eixo Locado	9.249.489,815	382.221,167
SM-03	Eixo Locado	9.249.489,926	382.260,560
SM-04	Eixo Locado	9.249.503,775	382.299,939
SM-05	40,00m p/ Montante (Eixo Locado)	9.249.446,864	382.208,568

Quadro Nº3.3.1.: Locação das Sondagens Executadas			
Furo	Local	Coordenadas UTM (SAD-69)	
		N (Y)	E (X)
SM-06	40,00m p/ Montante (Eixo Locado)	9.249.453,970	382.247,913
SM-07	40,00m p/ Jusante (Eixo Locado)	9.249.525,682	382.194,383
SM-08	40,00m p/ Jusante (Eixo Locado)	9.249.532,714	382.233,794
SM-09	Eixo Projetado (Vertedouro)	9.249.524,131	381.268,769
SM-10	Eixo Projetado (Vertedouro)	9.249.493,901	381.358,084
SM-11	Eixo Projetado (Vertedouro)	9.249.481,809	381.392,213
SM-12	Eixo Projetado (Vertedouro) 114m p/ Jusante	9.249.626,751	381.312,289
SM-13	Eixo Projetado (Vertedouro) 57m p/ Jusante	9.249.564,861	381.318,888
SM-14	Eixo Projetado (Vertedouro) 96m p/ Jusante	9.249.584,456	381.382,803
SM-15	Eixo Projetado (Vertedouro) 80m p/ Jusante	9.249.558,066	381.416,397
SM-501	Eixo da Barragem (Projetado)	9.249.476,260	382.339,384
SM-502	Eixo da Barragem (Projetado)	9.249.483,093	382.299,972
SM-503	Eixo da Barragem (Projetado)	9.249.503,591	382.181,735
SM-504	Eixo da Barragem (Projetado)	9.249.510,413	382.142,385
SM-505	Eixo da Barragem (Projetado)	9.249.517,256	382.102,911
SP-506	Eixo da Barragem (Projetado)	9.249.524,089	382.063,499
SM-507	Eixo da Barragem (Projetado) 35,61m p/ Jusante	9.249.518,182	382.306,055
SM-508	Eixo da Barragem (Projetado) 29,19m p/ Jusante	9.249.513,989	382.275,062
SM-509	Eixo da Barragem (Projetado) 55,61m p/ Jusante	9.249.551,543	382.230,709
SM-510	Eixo da Barragem (Projetado) 35,61m p/ Jusante	9.249.538,670	382.187,880
SM-511	Eixo da Barragem (Projetado) 35,61m p/ Jusante	9.249.545,513	382.148,407
SM-512	Eixo da Barragem (Projetado) 81,26m p/ Jusante	9.249.583,658	382.195,616
SM-513	Eixo da Barragem (Projetado) 81,26m p/ Jusante	9.249.590,490	382.156,266
SM-514	Eixo da Barragem (Projetado) 22,75m p/ Jusante	9.249.520,037	382.220,078

3.3.2.1 – Descrição das Sondagens Executadas

A investigação geotécnica iniciou-se com a execução de quatro tipos de sondagens, a saber:

- SPP: Sondagem a Pá e Picareta;
- SP: Sondagem a Percussão;
- SM: Sondagem Mista (iniciada a percussão e seguida em rotativa).

Todas as sondagens mencionadas acima seguiram as normas da ABNT.

A locação, bem como as cotas topográficas das bocas de furos foram fornecidas a partir dos estudos topográficos de campo.

3.3.2.2 – Sondagens a Pá e Picareta

Os poços de inspeção localizados no eixo barrável foram realizados nos pontos onde haviam sido projetados furos de percussão e a ocorrência de rocha aflorando não permitiu a execução deste tipo de sondagem.

Todos os poços foram perfurados por meio de escavação manual com dimensões de 1,00m longitudinalmente por 1,00m transversalmente.

3.3.2.3 – Sondagens a Percussão

O objetivo básico destas sondagens foi o de definir a espessura dos depósitos aluvionais sobre o embasamento rochoso e as resistências das camadas através do “SPT”(STANDARD PENETRATION TEST), realizado a cada metro sondado.

O critério de paralisação das sondagens foi o de lavagem por tempo (menos de 5cm de penetração para 10 minutos de lavagem), ou a profundidade de projeto, no caso dos furos de percussão simples. Todas as sondagens foram realizadas com diâmetro de 2 ½” (duas e meia polegadas).

3.3.2.4 – Sondagens Mistas

Sondagem mista é aquela executada por sondagem a percussão em todo os tipos de terreno penetráveis por esse processo, e executadas por meio de sondagem rotativa nos materiais impenetráveis a percussão.

Iniciou-se os furos com sondagem percussiva no diâmetro de 2 ½” (duas e meia polegadas), no qual foi definida a espessura de solos sobre o embasamento rochoso e

as resistências das camadas através do “SPT”. Prosseguiu-se com sonda rotativa, na qual usava-se a sonda MACH 920 de avanço manual, acoplada a um calibrador e a um barrilete duplo de mola, tipo NX para recuperação do testemunho, do qual obteve-se informações da alteração, fraturamente e estanqueidade da rocha.

3.3.3 – Ensaios In Situ

3.3.3.1 – Ensaios de Permeabilidade com Carga Constante

Nos ensaios de Permeabilidade “in situ” com carga constante, mantém-se constante a vazão até que as condições de fluxo se estabilizem e a carga (altura da água no furo), se torne constante. Nestas condições, medem-se a vazão e a carga, para aplicação das fórmulas apropriadas.

Este tipo de ensaio pode ser usado para solos que se situem abaixo ou acima do nível estático da água (NA).

Foram executados 13 (treze) ensaios.

Os dados gerais destes ensaios encontram-se no **Quadro N°3.3.2**.

QUADRO N°3.3.2 – ENSAIOS DE PERMEABILIDADE COM CARGA CONSTANTE		
SONDAGEM	N° DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM-01	01	0,77m – 3,00m
SM-02	02	0,50m – 2,50m 3,00m – 4,20m
SM-03	02	0,50m – 3,00m 3,00m – 5,06m
SM-04	02	0,50m – 2,00m 2,00m – 3,57m
SM-05	02	0,50m – 3,00m 3,00m – 4,61m
SM-06	02	0,60m – 3,00m 3,00m – 5,52m
SM-07	01	0,40m – 3,60m
SM-08	01	0,50m – 3,30m

3.3.3.2 – Ensaios de Perda D’Água Específica

Ensaios de perda d’água sob pressão em furos de sondagem têm por objetivo a determinação da permeabilidade e do comportamento dos maciços rochosos frente à

percolação da água através de suas fissuras.

Consiste na injeção de água sob pressão em um trecho do furo de sondagem e na medida da quantidade de água que se infiltra no maciço, durante um certo tempo, sob uma dada pressão de injeção. O ensaio é realizado em 5 (cinco) estágios de pressão, sendo os 1º e o 5º estágios sob uma pressão mínima; os 2º e 4º estágios sob uma pressão intermediária; e o 3º estágio sob uma pressão máxima, conforme a seguir:

- 1º e 5º estágios – pressão de 0,10kg/cm²;
- 2º e 4º estágios – pressão intermediária = $P_{máx}/2$;
- 3º estágio – pressão máxima = $P_{máx}$.

O **Quadro N°3.3.3** mostra os dados técnicos gerais dos ensaios de perda d'água sob pressão.

QUADRO N°3.3.3 – ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA ESPECÍFICA		
SONDAGEM	Nº DE ENSAIOS	TRECHOS ENSAIADOS
SM-01	02 (dois)	3,12m – 6,13m 6,15m – 7,60m
SM-02	02 (dois)	4,20m – 7,20m 7,20m – 10,20m
SM-03	02 (dois)	5,08m – 8,08m 8,08m – 10,73m
SM-04	04 (quatro)	3,57m – 5,57m 5,57m – 8,57m 8,57m – 11,57m 11,57m – 13,57m
SM-05	02 (dois)	4,61m – 7,61m 7,61m – 10,61m
SM-06	04 (quatro)	5,52m – 7,82m 7,82m – 10,82m 10,82m – 13,82m 13,82m – 15,52m
SM-07	02 (dois)	3,40m – 6,40m 6,40m – 8,35m
SM-08	02 (dois)	3,30m – 6,30m 6,30m – 7,25m

3.3.4 – Pesquisa de Jazidas

Os trabalhos referentes à pesquisa de materiais a serem utilizados nas obras tiveram seu início a partir de um reconhecimento em campo, de modo a localizar e conferir os empréstimos existentes na área. Deve-se salientar que os estudos básicos existentes nortearam os trabalhos. Neste momento, levou-se em considerações duas variáveis importantes: qualidade e volume dos materiais detectados.

Assim sendo, identificou-se os seguintes empréstimos: cinco jazidas de solo, denominadas de J-1, J-2, J-3, J-4 e J-5, uma ocorrência de areia de rio, denominada de A-01 e uma pedreira, denominada de P-01.

3.3.4.1 – Jazidas de Solo (Empréstimos 1, 2, 3, 4 e 5)

Para que houvesse uma boa abrangência nos estudos dos empréstimos, lançou-se uma malha quadrática com 100,00m de lado, onde procedeu-se à abertura de poços a pá e picareta para coleta de materiais e posterior realização de ensaios de laboratório.

Dentro de um afastamento econômico adequado do local da obra em estudo, foram identificados e caracterizados os materiais das áreas de empréstimo.

Em cada poço de inspeção foi feita uma descrição dos materiais, identificando suas características e quantificando suas potencialidades e distância média de transporte, conforme já comentado.

- Granulometria (com e sem sedimentação);
- Limites de “Atterberg”;
- Ensaios de Compactação (Proctor Normal);
- Umidade Natural;
- Peso Específico Real;
- Permeabilidade com Carga Variável;
- Cisalhamento Direto Lento.

A seguir resume-se as características das áreas potencialmente exploráveis:

DADOS GERAIS DA JAZIDA J-1

Área total estudada 210.000,00m²;
Número de furos realizados 33 und;
Profundidade média dos furos 1,53 m;
Volume total de material 321.300,00m³;
Camada média de expurgo 0,10m;
Espessura média útil 1,43m;
Volume de material utilizável 300.300,00m³;
Distância do eixo barrável 2,77km.

DADOS GERAIS DA JAZIDA J-2

Área total estudada 110.000,00m²;
Número de furos realizados 20 und;
Profundidade média dos furos 1,63 m;
Volume total de material 179.300,00m³;
Camada média de expurgo 0,10m;
Espessura média útil 1,53m;
Volume de material utilizável 168.300,00m³;
Distância do eixo barrável 3,03km.

DADOS GERAIS DA JAZIDA J-3

Área total estudada 60.000,00m²;
Número de furos realizados 14 und;
Profundidade média dos furos 1,36 m;
Volume total de material 81.600,00m³;
Camada média de expurgo 0,10m;
Espessura média útil 1,26m;

Volume de material utilizável 75.600,00m³;
Distância do eixo barrável 2,81km.

DADOS GERAIS DA JAZIDA J-4

Área total estudada 30.000,00m²;
Número de furos realizados 08 und;
Profundidade média dos furos 1,66 m;
Volume total de material 49.800,00m³;
Camada média de expurgo 0,10m;
Espessura média útil 1,56m;
Volume de material utilizável 46.800,00m³;
Distância do eixo barrável 3,41km.

DADOS GERAIS DA JAZIDA J-5

Área total estudada 40.000,00m²;
Número de furos realizados 10 und;
Profundidade média dos furos 0,94 m;
Volume total de material 37.600,00m³;
Camada média de expurgo 0,10m;
Espessura média útil 0,84m;
Volume de material utilizável 33.600,00m³;
Distância do eixo barrável 2,50km.

3.3.4.2 – Jazidas de Areia (Areal 1)

Da mesma forma com o ocorrido na jazida terrosa, o areal foi identificado e posteriormente estudado, onde se lançou uma malha de sondagens, ao longo do depósito.

Foi feito um reexame dos potenciais volumétrico do areal tendo em vista que a barragem será de CCR e verificou-se há areia em quantidade suficiente para execução da obra.

Amostras deste material também foram colhidas e encaminhadas ao laboratório para ensaios.

A jazida em questão encontra-se ao longo do leito do rio.

DADOS GERAIS DO AREAL

Distância do areial ao eixo	0,30km;
Extensão	300,0m;
Largura	10,00m;
Altura a explorar	2,00m;
Volume explorável	60.000,00m ³ .

3.3.4.3 – Pedreira

A pedreira encontrada localiza-se a jusante do eixo barrável. No local da pedreira foi um reexame e verificou-se que há pedra em quantidade suficiente para execução da obra.

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PEDREIRA

Extensão	200,0m;
Largura	100,0m;
Altura a explorar	5,00m;
Volume explorável	100.000,00m ³ ;
Distância para o eixo	0,40km;
Classificação	Gnaisse.

3.3.5 – Ensaios de Laboratório

Todos os ensaios de laboratório seguiram o preconizado pelas normas técnicas da ABNT.

De modo a facilitar a visualização, elaborou-se quadro resumos referente a cada ensaio, os quais são apresentados a seguir:

Jazidas de Solos

Foram coletadas 40 (quarenta) amostras para que fossem submetidas a ensaios normais de caracterização, constando de determinação dos Limites de Atterberg (LL e LP), Granulometria por peneiramento e com sedimentação, peso específico, compactação proctor normal, permeabilidade com carga variável e cisalhamento direto lento.

Os ensaios de granulometria por sedimentação, peso específico, permeabilidade com carga variável e cisalhamento direto lento não foram executados para todas as amostras coletadas.

Jazida de Areia

Foram 10 (dez) as amostras coletadas na jazida de areia A-1 e submetidas a análise granulométrica por peneiramento e permeabilidade com carga constante.

Pedreira

Na pedreira P-1 foram realizados 03 (três) ensaios tipo “Los Angeles”.

3.4 – HIDROLOGIA

Os estudos hidrológicos consistiram na caracterização física da bacia hidrográfica, no estudo de cheias, nas curvas de regularização do reservatório e no dimensionamento do Vertedouro.

3.4.1 – Característica Física da Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica da Barragem Mamoeiro possui as seguintes características físicas:

- Bacia Hidrográfica.....1.887,6 km²;
- Perímetro da Bacia Hidrográfica..... 222,47 km;
- Declividade Média da Bacia Hidrográfica..... 3,72 m/km;
- Comprimento do Rio Principal..... 107,63km;
- Fator de Compacidade..... 1,44;

- Fator de Forma..... 0,16;
- Tempo de Concentração..... 21,03h.

3.4.2 – Estudo de Cheias

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

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

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

Em barragens pequenas, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso. Foram calculadas aqui as cheias de projeto de 1000 e 10000 anos. O intervalo de computação dos hidrogramas de cheia foi de 5 minutos.

3.4.2.1 – Metodologia

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

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

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Mamoeiro foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento

superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietogramas de projeto correspondentes a 1000 anos (T_r = tempo de retorno).

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

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

3.4.2.2 – Precipitação

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

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtidas através do método de Taborga. Na **Figura 3.4.1** apresenta a curva intensidade-duração-freqüência para a bacia de estudo.

QUADRO 3.4.1 – CHUVAS REDUZIDA								
DURAÇÃO	5 min	15 min	60 min	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
P(mm) – 7R 50	10,9	21,1	36,6	46,0	51,5	60,9	70,3	79,7
P(mm) – TR 100	11,9	23,1	40,0	50,3	56,3	66,6	76,9	87,2
P(mm) – TR 1000	15,3	29,0	49,7	63,3	71,2	84,7	98,2	111,7
P (mm) – TR 10000	18,7	34,6	58,7	75,6	85,5	102,5	119,4	136,6

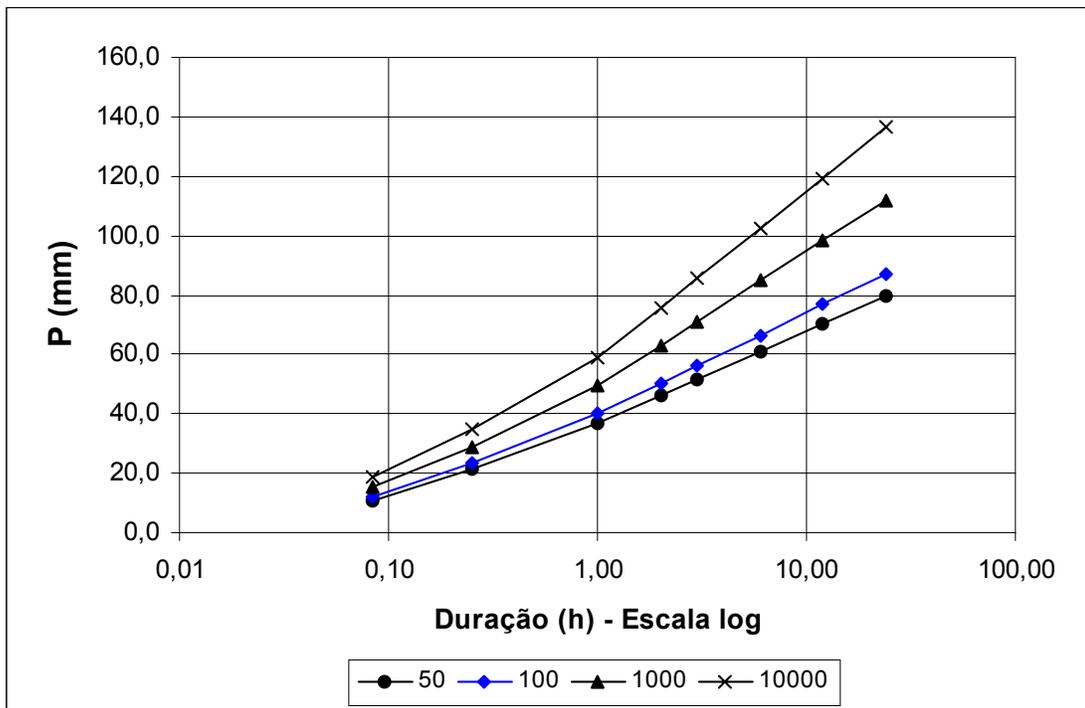


FIGURA 3.4.1 – CURVAS INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQÜÊNCIA - CHUVA REDUZIDA

O HEC-1 utiliza os dados da curva intensidade-duração-freqüência para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tempestade (tempestade balanceada). Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos através das equações do HYDRO-35 (National Weather Service, 1977):

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

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

Onde P_n é a precipitação para a duração de n minutos. Adotou-se um hietograma de projeto com duração de 24 horas.

3.4.2.3 – Precipitação Efetiva

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

O cálculo das perdas de precipitação pode ser usado nos outros componentes do modelo HEC-1, em especial, hidrograma unitário. No caso do hidrograma unitário,

estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia).

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

O método Curva Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico; (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente. Para a bacia do Mamoeiro foi adotado um CN = 82,97 com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos), uso e ocupação e relevo contidos no PERH (1990).

A equação de escoamento do SCS é dada por

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

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

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

$$I_a = 0,20.S$$

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

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

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

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

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

CONDIÇÕES SECAS

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

CONDIÇÕES ÚMIDAS

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

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

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

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

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

3.4.2.4 – Hidrograma Unitário – SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ser

construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o T_{LAG} . Este parâmetro, T_{LAG} , é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

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

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

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

$$L = 107.63 \text{ km} \quad \Delta H = 400 \text{ m} \quad S = 3.72 \text{ m/km}$$

O que resulta $T_c = 21.03 \text{ h}$; $T_{LAG} = 12.62 \text{ h}$ para a Barragem Mamoeiro.

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

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

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

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

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

Onde T_c = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-1 sugere que $\Delta t \leq 0,29 T_{LAG}$. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessária uma estimativa do tempo de concentração da bacia. Este tempo de concentração foi avaliado através da aplicação da fórmula de Kirpich.

A **Figura 3.4.2** abaixo apresenta o hidrograma de projeto e o hidrograma afluente a barragem Mamoeiro obtido através do uso do modelo HEC, conforme

metodologia acima . A vazão de pico do hidrograma de 1000 anos de tempo de retorno foi 1862 m³/s. Para o tempo de retorno de 10000 anos foi obtida uma vazão de pico de 2494 m³/s (Figura 3.4.3).

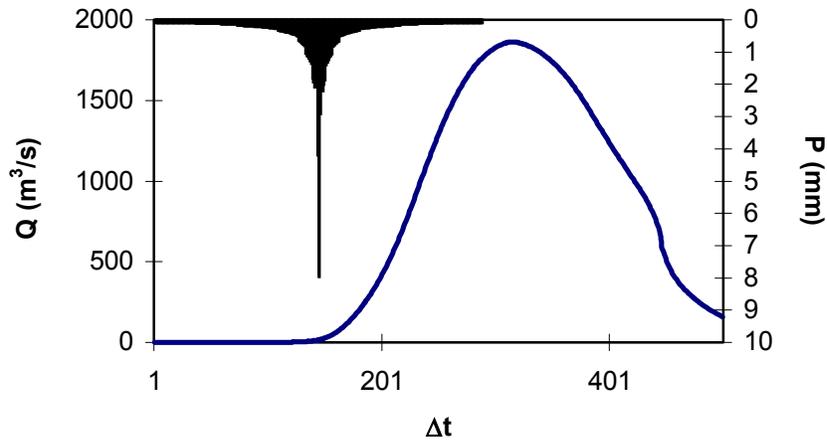


FIGURA 3.4.2 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO MAMOEIRO (TR = 1000 ANOS)

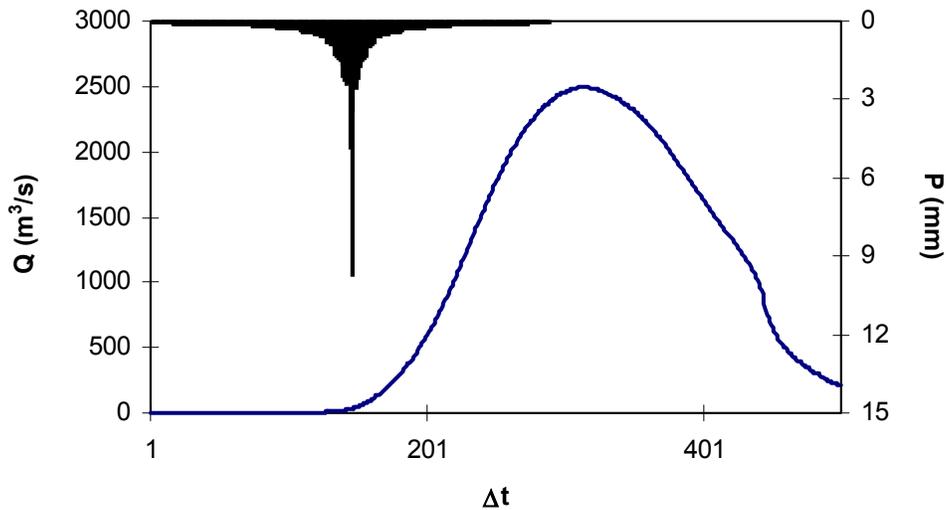


FIGURA 3.4.3 – HIDROGRAMA TOTAL AFLUENTE AO MAMOEIRO (TR = 10000 ANOS)

3.4.3 – Curvas de Regulação do Reservatório

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

investimentos a serem realizados. Em termos hidrológicos, os objetivos centrais deste capítulo são:

- Análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Mamoeiro;
- Estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Mamoeiro;
- traçado das curvas de regulação inclui: volumes evaporado (E), liberado (M) e sangrado (S) versus capacidade (K) e dM/dK versus K.

3.4.3.1 – Metodologia

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado dois métodos, a saber:

- Solução direta da equação de balanço hídrico;
- Diagrama Triangular de Regularização.

3.4.3.2 – Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

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

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

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

Com

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

Onde

Z_t = volume armazenado no início do ano t;

I_t = volume afluyente ao reservatório durante o ano t;

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

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

K = capacidade do reservatório;

S_t = volume perdido por sangria durante o ano t.

Representando-se a bacia hidráulica por

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

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

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

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

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

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

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

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

4. Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por:
 - a) divide-se M e E em L partes (no caso $L=6$);
 - b) retirada da reserva, se disponível, de M/L

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

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

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

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

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

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

VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

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

5. Prossegue-se com os passos 3 e 4 até que se complete os 2000 anos da série gerada, totalizando os volumes evaporado, sangrado e liberado;

6. Concluído os 2000 anos, verifica-se se a frequência de falha está entre 9,95 e 10,05%, ou se o erro em retirada é menor do que 0,5 unidade. Caso afirmativo aceita-se o valor de M, caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1.

3.4.3.3 – O Diagrama Triangular de Regularização

O método do Diagrama Triangular baseia-se no balanço de massas de um reservatório para um período longo:

$$\sum I = \sum M + \sum S + \sum E + Z$$

Onde $\sum I$, $\sum M$, $\sum S$, $\sum E$ representam as somas dos volumes afluente, retirado, sangrado e evaporado, enquanto Z representa a diferença entre os volumes

final e inicial do reservatório. Dividindo-se a equação de balanço de massas acima por N, N suficientemente grande, obtém-se:

$$\mu = E \{M\} + E \{S\} + E \{E\}$$

Onde $E \{.\}$ representa o operador valor esperado, e μ o deflúvio afluente médio. Pela última equação verifica-se que o volume afluente divide-se em três componentes, o que sugere o uso do Diagrama Triangular para estabelecer como esta divisão se processa em função dos parâmetros estatísticos dos deflúvios e das características do reservatório (CAMPOS, 1990).

3.4.3.4 – Resultados

As características do escoamento estabelecidas no PERH (1990) foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber:

- Lâmina média escoada: 47 mm
- Volume afluente médio escoado (μ): 89 hm³/ano

O coeficiente de variação de CV = 1.6 foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995).

Para aplicação dos dois métodos faz-se necessário a determinação do fator de forma α , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. No caso do fator adimensional de capacidade, este é variável uma vez que pretende-se analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

$$E_L = 0.85 \cdot (166.2+225.9+247.9+273.7+307.8+289.7+275.5)$$
$$= 1518.7 \text{ mm (Evaporação na estação seca)}$$

$$\alpha = 3307,24$$

$$f_E = 3 \alpha^{1/3} E_L / \mu^{1/3} = 0.15$$

No **Quadro 3.4.2** apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K (fator de capacidade = K/μ). A **Figura 3.4.4** apresenta as curvas de regulação para o reservatório Mamoeiro, que nada mais é que o gráfico dos valores apresentados no **Quadro 3.4.2**.

QUADRO 3.4.2 – ESTUDO INCREMENTAL DE CAPACIDADES DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO											
COTA (m)	K (hm ³)	fk=K/ m	%LIB	LIB (hm ³ /ano)	%EV	EV (hm ³ /ano)	%SG	SG (hm ³ /ano)	dM/dK	Q90 (m ³ /s)	M90 (hm ³ /ano)
350	8,3	0,09	2,6	2,365	2,1	1,922	95,3	86,405		0,08	2,453
353	15,5	0,17	5,2	4,703	3,1	2,835	91,7	83,165	0,35	0,16	4,953
355	22,5	0,25	7,5	6,786	4,0	3,584	88,6	80,327	0,33	0,23	7,250
357	30,8	0,35	8,9	8,045	5,0	4,574	86,1	78,072	0,15	0,27	8,500
359	40,6	0,46	10,9	9,842	6,1	5,539	83,0	75,302	0,19	0,33	10,375
361	52,3	0,59	13,2	11,992	7,2	6,559	79,5	72,137	0,19	0,40	12,625
365	82,4	0,93	19,4	17,619	9,5	8,648	71,0	64,436	0,20	0,59	18,750
370	132,7	1,49	25,6	23,223	13,1	11,906	61,3	55,549	0,12	0,78	24,625
375	193,4	2,17	31,8	28,791	16,6	15,067	51,6	46,821	0,10	0,97	30,625
378	235,1	2,64	34,5	31,317	18,8	17,061	46,7	42,311	0,06	1,05	33.250

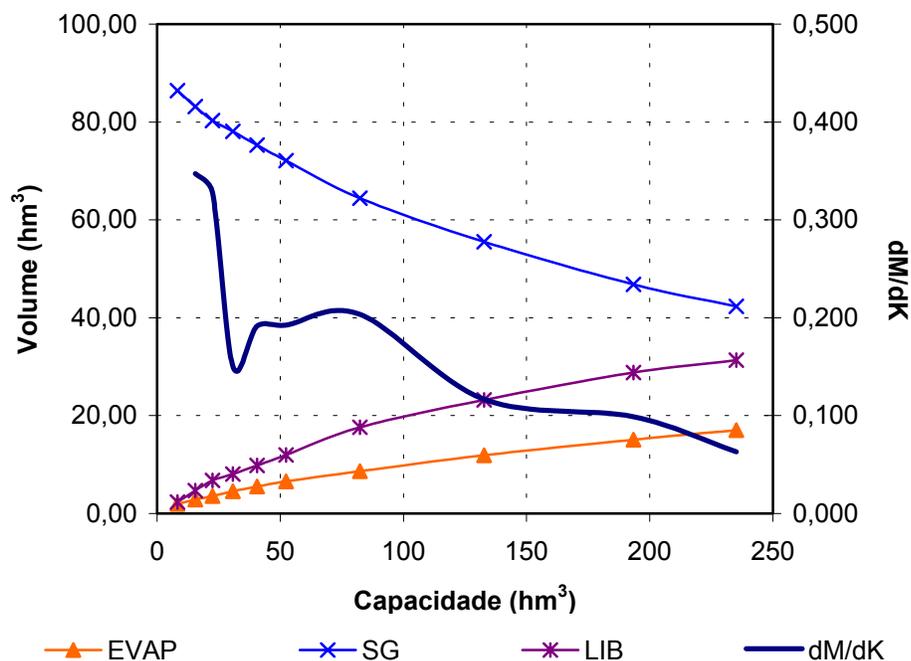


FIGURA 3.4.4 – CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO

A Figura 3.4.4 e os dados apresentados no Quadro 3.4.2 sugerem que a partir da cota 355 m (volume em torno de 22.5 hm³) os ganhos incrementais na capacidade de regularização da barragem com o aumento do barramento não são significativos. Para esta capacidade o reservatório regulariza 7.5% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 6.786 hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0.230 m³/s. O Quadro 3.4.3 mostra como o

volume afluente ao reservatório distribui-se em volume regularizado (RG), volume evaporado (EV) e volume sangrado (SG). Os resultados obtidos com o método do Diagrama Triangular de Regularização (**Figura 3.4.5**) confirmam os valores obtidos pela solução direta do balanço hídrico.

QUADRO 3.4.3 – DISTRIBUIÇÃO DO VOLUME AFLUENTE E QR (90%) PARA O RES. MAMOEIRO			
EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m3/s)
6.786 – 7.5%	80.327 – 88.5%	3.584 – 4.0%	0.230

EV - Volume Evaporado (hm³/ano) SG - Volume Sangrado (hm³/ano)
 RG- Volume Regularizado (hm³/ano) Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m³/s)

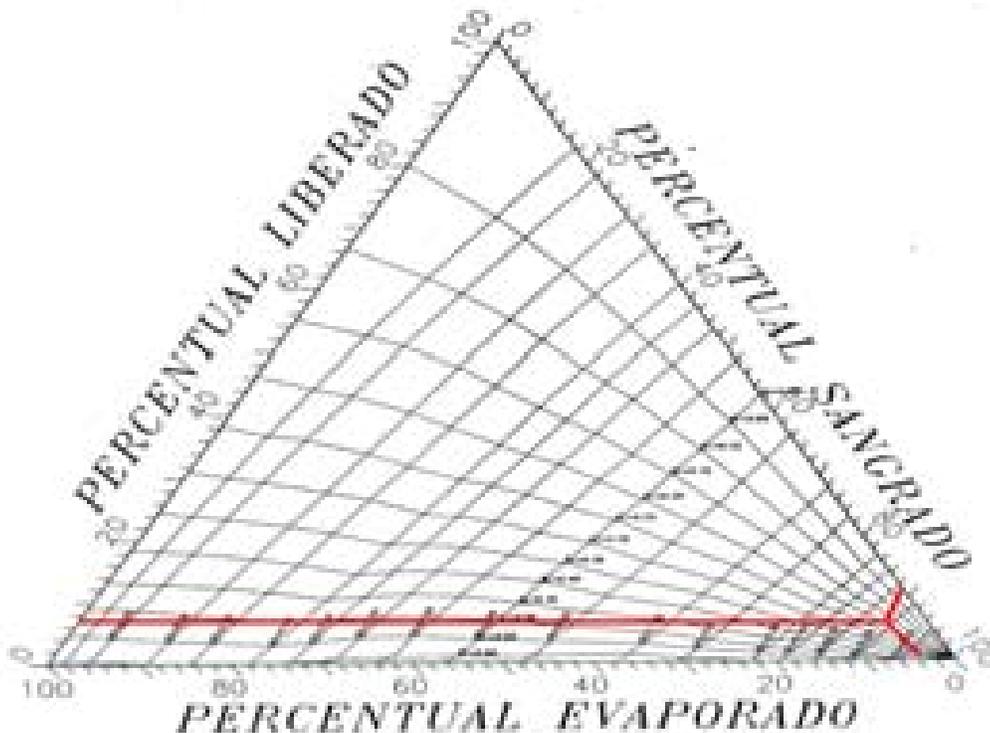


FIGURA 3.4.5 – DIAGRAMA TRIANGULAR DE REGULARIZAÇÃO APLICADO A BARRAGEM DE MAMOEIRO.

3.4.4 – Dimensionamento do Vertedouro

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

No dimensionamento do Vertedouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1.000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação, e será determinada a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10.000 anos, para garantir o não galgamento nesta cheia. Foram utilizadas chuvas de duração de 24 horas e de 2 dias.

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

3.4.4.1 – Propagação da Cheia no Reservatório

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

A equação discretizada da continuidade é dada por

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

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

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

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

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

Foi analisado um vertedouro com perfil Creager e coeficiente de descarga 2.1, ficando sua equação característica:

$$Q = 2,1 \cdot L \cdot (Z - Z_w)^{1,5}$$

3.4.4.2 – Resultados

Uma vez escolhida a dimensão do açude (cota=355 m), elaborou-se o estudo de laminação para a cheia de 1.000 anos, para dimensionamento do Vertedouro, e para a cheia de 10.000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida para chuvas de duração de 24 horas e de 2 dias, encontram-se nos **Quadros N°s 3.4.3** e 34.4, respectivamente. Utilizou-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 e 10.000 anos. A **Figura N°3.4.6** abaixo mostra o hidrograma de entrada e o de saída ao reservatório Mamoeiro correspondente ao tempo de retorno $Tr=1000$ anos para o vertedouro em perfil Creager e chuva de duração 24 horas. Os resultados correspondentes para o tempo de retorno de 10.000 anos podem ser visualizados na **Figura N°3.4.7**. Resultados referentes às chuvas de 2 dias associadas a 1000 e 10000 anos de tempo de retorno são apresentadas nas **Figuras N°s 3.4.8 e 3.4.9**, respectivamente.

QUADRO N°3.4.3 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA CHUVA DE 24 HORAS			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{OUT} (m³/s)
Tr = 1.000 anos - Q_{in} = 2626,0 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	360,5	5,5	2180,0
Perfil Creager: L = 100 m			
355	359,9	4,9	2313,0
Perfil Creager: L = 120 m			
355	359,5	4,5	2372,0
Perfil Creager: L = 150 m			
355	358,9	3,9	2439,0
Tr = 10.000 anos - Q_{in} = 3546,0 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	361,7	6,7	2955,0
Perfil Creager: L = 100 m			
355	361,0	6,0	3098,0

QUADRO Nº3.4.3 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA CHUVA DE 24 HORAS			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{OUT} (m³/s)
Perfil Creager: L = 120 m			
355	360,4	5,4	3202,0
Perfil Creager: L = 150 m			
355	359,8	4,8	3325,0

L = Largura do Vertedouro

Z_w = cota da soleira do Vertedouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (Vertedouro)

QUADRO 3.4.3 – RESULTADO DA SIMULAÇÃO PARA CHUVA DE 2 DIAS			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	Q_{out} (m³/s)
Tr = 1.000 anos - Q_{in} = 2959,0 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	361,0	6,0	2466,0
Perfil Creager: L = 100 m			
355	360,3	5,3	2595,0
Perfil Creager: L = 120 m			
355	359,9	4,9	2695,0
Perfil Creager: L = 150 m			
355	359,2	4,2	2761,0
Tr = 10.000 anos - Q_{in} = 3938,0 m³/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	362,3	7,3	3310,0
Perfil Creager: L = 100 m			
355	361,5	6,5	3459,0
Perfil Creager: L = 120 m			
355	360,8	5,8	3561,0
Perfil Creager: L = 150 m			
355	360,2	5,2	3688,0

L = Largura do Vertedouro

Z_w = cota da soleira do Vertedouro

Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório

Q_{out} = Vazão de saída (Vertedouro)

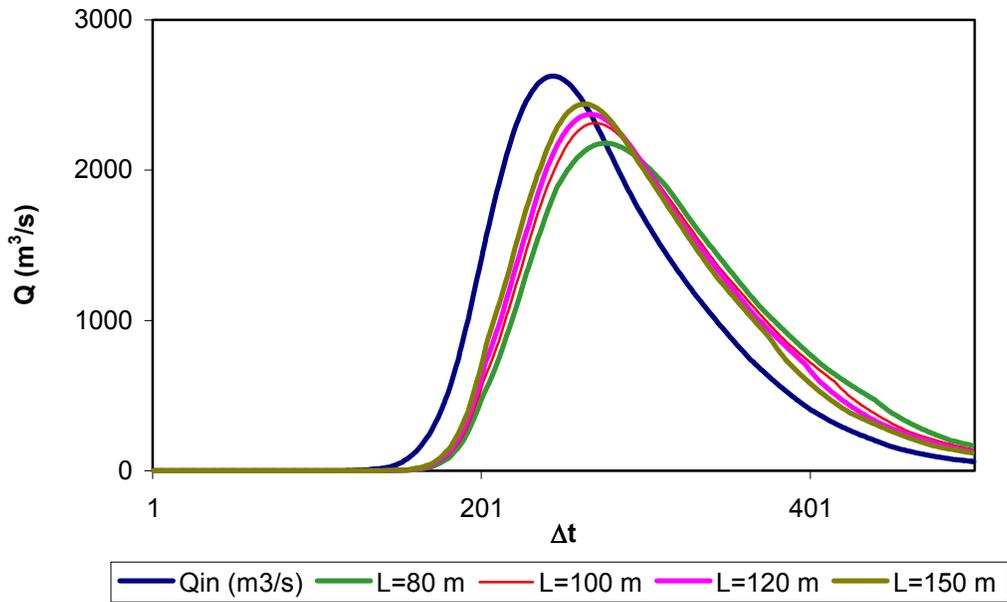


FIGURA 3.4.6 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER)

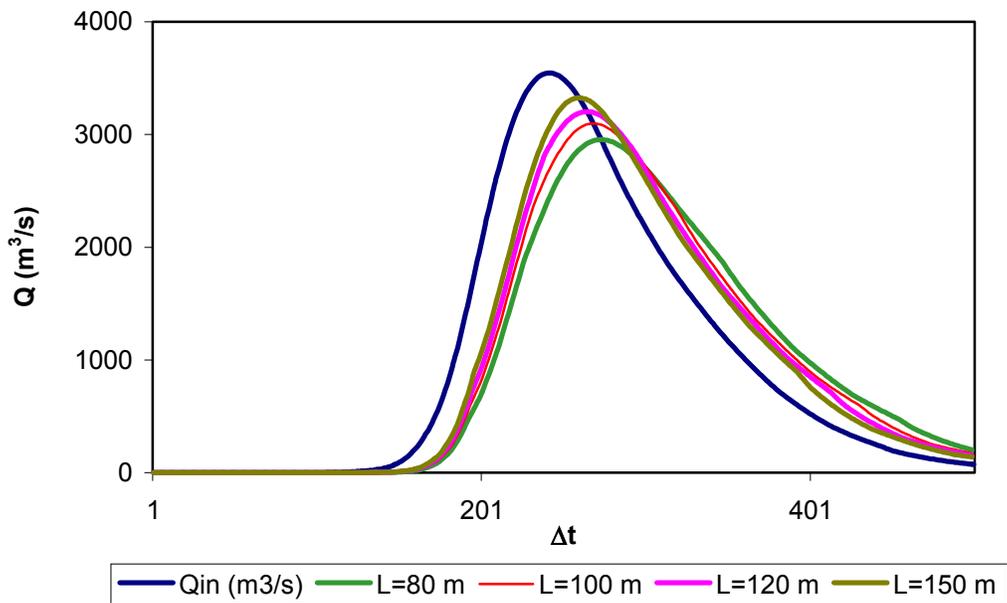


FIGURA 3.4.7 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER)

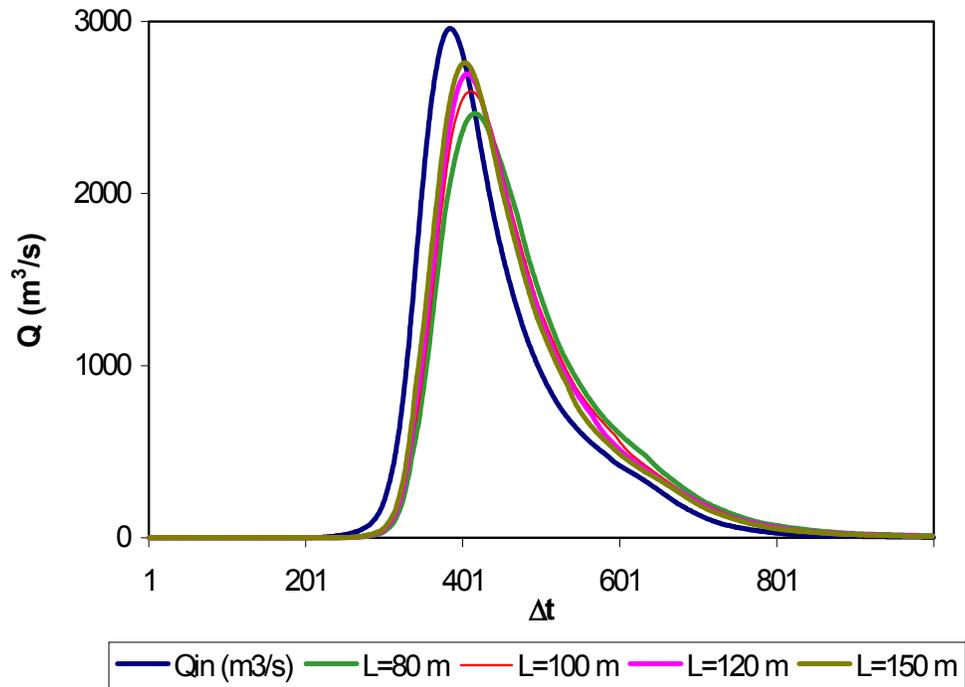


FIGURA Nº3.4.8 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO (TR=1.000 ANOS, PERFIL CREAGER) – CHUVA DE 2 DIAS

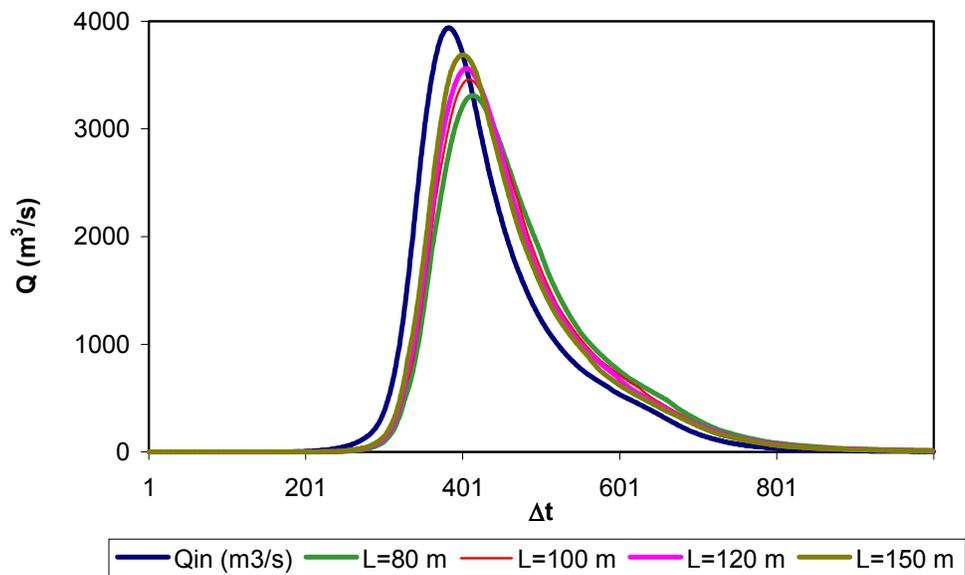


FIGURA Nº3.4.9 – HIDROGRAMAS DE ENTRADA E DE SAIDA DO RESERVATÓRIO MAMOEIRO (TR=10.000 ANOS, PERFIL CREAGER) – CHUVA DE 2 DIAS

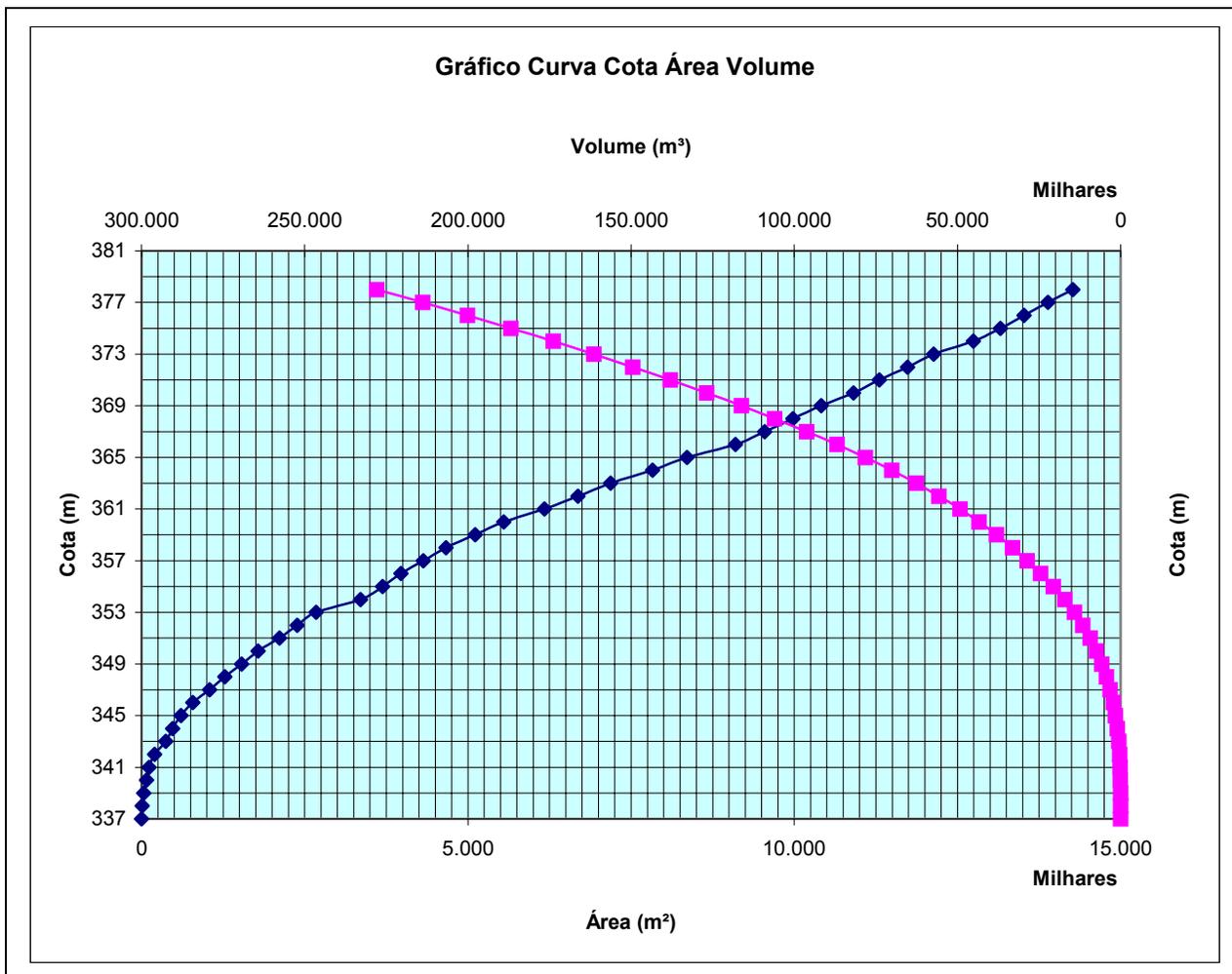
3.4.5 – Sumário Técnico dos Estudos Hidrológicos

CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	
Área da bacia do Açude Mamoeiro	1887,6 km ²
Perímetro da bacia do Açude Mamoeiro	222,5 km
Declividade Média da bacia do Açude Mamoeiro	3,72 m/km
Comprimento do rio principal	107,6 km
Fator de compacidade	1,44
Fator de forma	0,16
Tempo de concentração (toda a bacia)	21,03 hrs
Tempo de concentração (Poço da Pedra)	9,48 hrs

HIDROCLIMATOLOGIA	
Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	618,2 mm
Evaporação Média Anual	2493,6 mm
Evapotranspiração Potencial (Hargreaves)	1874,2 mm
Insolação Média Anual	2624,3 h
Umidade Relativa Média Anual	64,2 %
Temperatura Média Anual: Média das Máximas	30,7 °C
Temperatura Média Anual: Média das Médias	24,1 °C
Temperatura Média Anual: Média das Mínimas	20,1 °C
Classificação Climática	DS2A'a'
Classificação climática segundo Köppen	BWx'

ESTUDO DE CHEIAS	
Precipitação Efetiva	SCS
Propagação do Escoamento na Bacia	Hidrograma Unitário do SCS
CN	83
Vazão afluente – Tempo de retorno = 1000 anos	2959 m ³ /s
Vazão afluente – Tempo de retorno = 10000 anos	3938 m ³ /s

CAPACIDADE DO RESERVATÓRIO	
Capacidade máxima	20,683 hm ³
Cota da soleira do Vertedouro	355 m
Cota de coroamento	361,50 m



CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO - EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO			
RG - %	SG - %	EV - %	QR 90% (m3/s)
4,246 – 5,7%	67,003 – 89,4%	3,671 – 4,9%	0,14

EV - Volume Evaporado (hm3/ano)

SG - Volume Sangrado (hm3/ano)

RG - Volume Regularizado (hm3/ano)

Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m3/s)

DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO - PERFIL CREAGER: $Z_w = 355,0$ m			
DURAÇÃO DA CHUVA = 48 HORAS			
COTA (m)	COTA DE PICO (m)	LÂMINA (m)	QOUT (m3/s)
Tr = 1000 anos - Qin = 2959 m3/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	361,00	6,00	2.466,00
Tr = 10.000 anos - Qin = 3938 m3/s			
Perfil Creager: L = 80 m			
355	362,30	7,30	3.310,00

4 – ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA

4 - ALTERNATIVAS EXAMINADAS E JUSTIFICATIVA DA OPÇÃO ESCOLHIDA

Durante o desenvolvimento do anteprojeto da barragem Mamoeiro foram feitas algumas análises de possibilidade de barramento que levaram em conta não só o tipo de barragem como, também, a cota da barragem. Entretanto, no avançar dos estudos a solução escolhida evoluiu para uma barragem de gravidade em CCR. Esta é a opção mais oportuna para o tipo de boqueirão.

5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO

5 – DESCRIÇÃO DO PROJETO

5.1 – GENERALIDADES

A Barragem Mamoeiro será construída no Riacho Conceição próximo à localidade de Vila Luziane que fica situada no Município de Aiuaba já próximo à divisa com o Município de Antonina do Norte. O Riacho Conceição é uma afluente do Rio Jaguaribe pela margem direita. A barragem terá seu eixo cortando o curso do Riacho Conceição no ponto de coordenadas $E(X)=382.240$ e $N(Y)=9.249.493$.

A Barragem Mamoeiro foi analisada nos estudos de hierarquização para ser construída com a finalidade primordial de abastecer a Cidade de Saboeiro. Porém com a construção da Barragem Arneiroz a sua finalidade foi modificada passando agora a ter a função de abastecer a Cidade de Antonina do Norte. Sendo assim o volume previsto, nos estudos de hierarquização, de 219hm^3 foi reduzido para a ordem de 20hm^3 .

O uso da águas da Barragem Mamoeiro terá, também, como finalidade abastecer o distrito de Luziane e outras comunidades próximas, além de servir para a piscicultura, lazer e pequenas irrigações.

5.2 – RELAÇÃO DE DESENHOS

O Projeto Executivo da Barragem Mamoeiro é composto de 34 desenhos que são apresentados no Volume 2.

A relação dos desenhos é apresentada no **Quadro Nº 5.1** a seguir:

QUADRO Nº5.1: RELAÇÃO DOS DESENHOS	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
I-2-MA-01/35-010	Bacia Hidráulica
I-2-MA-02/35-010	Estudos Topográficos – Planta de Locação dos Eixos
I-2-MA-03/35-010	Perfil Longitudinal do Eixo Barrável
I-2-MA-04/35-010	Planta de Locação dos Furos de Sondagem
I-2-MA-05/35-010	Perfil Geotécnico do Subsolo no Eixo Barrável
I-2-MA-06/35-010	Seções Geotécnicas do Subsolo – Seção BB' e Seção CC'
I-2-MA-07/35-010	Seções Geotécnicas do Subsolo – Seção DD' e Seção EE'
I-2-MA-08/35-010	Estudos Geotécnicos – Localização e Acessos das Ocorrências
I-2-MA-09/35-010	Arranjo Geral das Obras
I-2-MA-10/35-010	Vertedouro – Cortes Longitudinais e Transversais

QUADRO Nº5.1: RELAÇÃO DOS DESENHOS	
DESENHO Nº	DESCRIÇÃO
I-2-MA-11/35-010	Escavação das Obras
I-2-MA-12/35-010	Perfil Longitudinal da Barragem
I-2-MA-13/35-010	Seção Tipo (Máxima) – Trecho Insubmersível e Detalhes
I-2-MA-14/35-010	Seção Tipo (Máxima) – Trecho Submersível e Detalhes
I-2-MA-15/35-010	Seções Transversais – Segmentos (A, B, D e E)
I-2-MA-16/35-010	Seção Transversal – Segmento C
I-2-MA-17/35-010	Seções Transversais – Estaca E-06 a Estaca E-09
I-2-MA-18/35-010	Seções Transversais – Estaca 10 a Estaca 11
I-2-MA-19/35-010	Seções Transversais – Estaca 12 a Estaca 13
I-2-MA-20/35-010	Seções Transversais – Estaca 14 a Estaca 15
I-2-MA-21/35-010	Seção Transversal – Estaca 16
I-2-MA-22/35-010	Seção Transversal – Estaca 17
I-2-MA-23/35-010	Seção Transversal – Estaca 18
I-2-MA-24/35-010	Seções Transversais – Estaca 19 a Estaca 22
I-2-MA-25/35-010	Seções Tipo no Trecho Insubmersível (Máxima) e Cortes Transversais
I-2-MA-26/35-010	Galeria de Drenagem – Planta e Cortes
I-2-MA-27/35-010	Galeria de Drenagem – Detalhes
I-2-MA-28/35-010	Acesso 1 – Galeria de Drenagem e Detalhes
I-2-MA-29/35-010	Acesso 2 – Galeria de Drenagem e Detalhes
I-2-MA-30/35-010	Bacia de Dissipação – Chumbadores, Juntas e Armadura
I-2-MA-31/35-010	Maciço de CCR – Juntas e Detalhes
I-2-MA-32/35-010	Localização dos Furos de Injeção – Planta, Perfil e Detalhes
I-2-MA-33/35-010	Tomada D'Água – Seção Longitudinal, Cortes e Detalhes
I-2-MA-34/35-010	Tomada D'Água – Caixa de Jusante (Detalhes) e Escavação do Canal de Jusante
I-2-MA-35/35-010	Tomada D'Água – Armadura da Caixa de Jusante e Galeria

5.3 – ESCOLHA DO TIPO DE BARRAGEM

A escolha do tipo de barragem foi uma decisão tomada a partir da análise de algumas concepções ensaiadas na fase dos estudos. Inicialmente foi pensado numa barragem de terra fechando o boqueirão e o vertedouro num ponto de sela a cerca de

940,00m do eixo do riacho. Após a execução da campanha de sondagens nesse local verificou-se que a qualidade da rocha não é competente o suficiente para resistir uma erosão de jusante e as cerca de 20,00m de desnível, entre o canal de sangria e o leiro do rio, tornaria essa região de jusante no canal de restituição muito vulnerável à uma erosão regressiva e de grande intensidade. Diante deste fato abandonou-se essa concepção. Passou-se então a trabalhar com as características topográficas e geológicas do boqueirão. Topograficamente, o boqueirão, no ponto escolhido, se constitui de um vale bem fechado, permitindo a adoção de uma barragem de gravidade. Mesmo assim foram examinados dois tipos de barramento: um com a parte central vertedouro e as ombreiras de maciço de terra; o outro tipo consistiu em uma concepção plena em maciço de gravidade.

A escolha recaiu nesta ultima alternativa, basicamente devido a procedimentos construtivos, maiores dificuldades construtiva sem uma correspondente redução nos custos.

Portanto foi adotado uma barragem de gravidade com vertedouro na calha do rio.

5.4 – CARACTERÍSTICAS DO TERRENO DA FUNDAÇÃO DA BARRAGEM

Foi executado uma campanha de sondagens inicialmente, basicamente, no local do eixo levantado. Após a solicitação de otimização do eixo com exceção das sondagens SM-02 e SM-03 as outras ficaram fora do eixo otimizado. Por solicitações do Painel de Consultores e tendo em vista o tipo de barragem, foi solicitado uma nova campanha de sondagens que foram programados já tendo em vista o eixo a ser projetado. Essa nova programação consistiu na execução de 14 sondagens mistas das quais seis foram executadas no eixo da barragem e oito foram executadas para o lado de jusante. As sondagens foram executadas com sonda rotativa com diâmetro $\phi = NX$ (75,3mm). As características dessas sondagens estão condensadas no **Quadro N°5.2**, mostrado a seguir:

Quadro N°5.2			
Sondagem	Localização	Cota (m)	Descrição Sumária do Material
SM-501	Est. 21 (Eixo)	354,53	De 0,00m a 1,98m: gnaisse muito duro branco e preto, cinza bandada RQD de 70%. De 1,98m a 15,30m: gnaisse muito duro branco, preto e rosa, RQD de 100%.
SM-502	Est. 19 (Eixo)	342,81	De 0,00m a 0,41m: areia argilosa com pedregulhos e fragmentos de rocha. De 0,41m a 3,51m: gnaisse muito duro branco RQD de 100%.

Quadro N°5.2			
Sondagem	Localização	Cota (m)	Descrição Sumária do Material
			De 3,51m a 7,41m: gnaiss muito duro, cinza, granulado fino a grosseiro bandada RQD de 100%. De 7,14m a 15,13m: gnaiss muito duro cinza granulado RQD de 80 a 100%.
SM-03	Est. 17 (Eixo)	339,46	De 0,00m a 1,00m: silte argiloso mole. De 1,00m a 1,50m: argila arenosa mole. De 1,50m a 3,00m: areia fina e média argilosa com pedregulhos $k=7 \times 10^{-3}$ cm/s. De 3,00m a 5,00m: areia fina e média, siltosa micácea $k=4,70 \times 10^{-3}$ cm/s. De 5,00m a 5,08m: silte areno argiloso com pedregulhos solo residual. De 5,08m a 6,08m: biotita-xisto moderadamente dura. De 6,08m a 7,08m: biotita-xisto muito dura cinza escura.
SM-02	Est. 15 (Eixo)	333,11	De 0,00m a 1,50m: silte areno argiloso com matéria orgânica muito mole. De 1,50m a 3,70m: argila arenosa muito mole. De 3,70m a 4,20m: areia fina e média siltosa com pedregulhos. De 4,20m a 12,25m: gnaiss cinza de dura a muito dura.
SM-503	Est. 13 (Eixo)	343,00	De 0,00m a 1,00m: areia fina e média argilosa com pedregulhos e fragmentos de rocha. De 1,00m a 2,00m: areia fina pouco micácea com pedregulhos de rocha gnáissica (solo de alteração de rocha). De 2,00m a 2,50m: gnaiss muito macio cinza claro. De 2,50m a 15,10m: gnaiss muito duro cinza.
SM-504	Est. 11 (Eixo)	347,00	De 0,00m a 0,20m: areia fina siltosa. De 0,20m a 0,65m: argila arenosa micácea. De 0,65m a 0,90m: areia fina e média pouco argilosa. De 0,90m a 1,20m: gnaiss muito macio, cinza. De 1,20m a 2,00m: gnaiss muito macio, cinza. De 2,00m a 19,95m: gnaiss muito duro, cinza granulado fino bandado.
SM-505	Est. 9 (Eixo)	350,00	De 0,00m a 0,20m: areia fina e média, argilosa. De 0,20m a 19,98m: gnaiss muito duro cinza granulado.
SM-506	Est. 7 (Eixo)	358,36	De 0,00m a 0,58m: areia fina, argilosa, com pedregulhos e fragmentos de rocha gnáissica. De 0,58m a 3,50m: gnaiss muito duro cinza e

Quadro N°5.2			
Sondagem	Localização	Cota (m)	Descrição Sumária do Material
			amarelo RQD de 40 a 50%. De 3,50m a 20,26m: gnaissse muito duro cinza granulado RQD de 100%.
SM-507	Est. 11 a 3,61m p/ jusante	341,39	De 0,00m a 2,00m: areia fina argilosa com fragmentos de rocha. De 2,00m a 3,09m: argila arenosa pouco micácea solo de alteração de rocha. De 3,09m a 4,34m: gnaissse macio a muito duro cinza RQD de 20%. De 4,34m a 15,20m: gnaissse muito duro cinza granulado RQD de 60 a 100%.
SM-508	Est. 17+10,00 a 26,19m p/jusante	338,00	De 0,00m a 1,00m: areia fina pouco argilosa com fragmentos de rocha, fofa. De 1,00m a 4,80m: argila arenosa muito mole a dura. De 4,80m a 5,00m: areia fina muito compacta. De 5,00m a 10,02m: gnaissse, muito duro, cinza granulado RQD de 90 a 100%.
SM-509	Est. 15 a 55,61m p/ jusante	339,25	De 0,00m a 0,68m: argila arenosa rija marrom escura. De 0,68m a 1,02m: argila arenosa, duro, com fragmentos de feldspato. De 1,02m a 1,72m: argila arenosa, micácea, solo de alteração de gnaissse. De 1,72m a 10,12m: gnaissse, muito duro preto, branco e rosa RQD de 60 a 100%.
SM-510	Est. 13 a 35,61m p/ jusante	345,40	De 0,00m a 0,64m: gnaissse, muito duro cinza (matacão). De 0,64m a 1,39m: areia fina pouco micácea amarela. De 1,39m a 20,00m: gnaissse, muito duro, cinza, granulado fino RQD de 80 a 100%.
SM-511	Est. 11 a 35,61m p/ jusante	345,49	De 0,00m a 0,20m: areia fina siltosa pouco micácea com fragmentos de rocha, marrom. De 0,20m a 0,30m: areia fina e média pouco argilosa com fragmentos de rocha, marrom escuro. De 0,30m a 2,30m: gnaissse muito duro cinza medianamente intemperizado muito fraturado recuperação de 10 a 40% e RQD nulo. De 2,30m a 20,08m: gnaissse muito duro medianamente intemperizado recuperação de 100% e RQD de 100%.
SM-512	Est. 13 a 81,26m p/ jusante	343,30	De 0,00m a 0,65m: argila, pouco arenosa, com pedregulhos e fragmentos de quartzo e feldspato. De 0,65m a 1,83m: argila arenosa, pouco micácea, com pedregulhos e seixos de quartzo, solo de alteração de gnaissse.

Quadro N°5.2			
Sondagem	Localização	Cota (m)	Descrição Sumária do Material
			De 1,83m a 15,03m: gnaissse muito duro preto e branco, medianamente intemperizado a ligeiramente intemperizado, recuperação de 70 a 100% e RQD de 60 a 100%.
SM-513	Est. 11 a 81,26m p/ jusante	343,33	De 0,00m a 0,65m: silte arenoso, muito compacto, com pedregulhos de quartzo. De 0,65m a 0,83m: argila arenosa, com pedregulhos de quartzo solo de alteração de gnaissse. De 0,83m a 1,83m: gnaissse muito duro com 80% de recuperação e RQD de 80%. De 1,83m a 15,33m: gnaissse muito duro, preto e branco intercalado com veios de quartzo, recuperação de 80 a 100% e RQD de 80 a 100%.
SM-514	Est. 14+14,90m a 22,75m p/ jusante	382,220	De 0,00m a 0,20m: areia fina argilosa marrom. De 0,20m a 3,0m: argila arenosa muito mole. De 3,0m a 3,78m: areia fina pouco argilosa micácea, fofa a compacta. De 3,78m a 15,06m: gnaissse, muito duro, cinza, granulado fino bandado recuperação de 80% a 100% e RQD de 80 a 100%.

De posse dos perfis de sondagens, foram preparados as seções e perfil longitudinal das camadas geológicas que são mostradas nos desenhos I-2-MA-05/35-010 a I-2-MA-07/35-010 do Volume 2 – Desenhos do Projeto.

Embasados nos resultados das sondagens realizadas, foram definidos as profundidades de escavação para assentamento da barragem, levando em conta o tipo de barragem que será construída.

5.5 – LOCAL DE BOTA-FORA

Os materiais excedentes das escavações obrigatórias, conforme exigência dos organismo ambientais, deverão ser colocados dentro do futuro lago e deverão ocupar os espaços abaixo da cota de curva de nível 340,00m.

5.6 – REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

O nível d'água na calha do rio se encontra quase na superfície do terreno natural e tendo em vista o nível das escavações para implantação da barragem, que prosseguira até o maciço rochoso, haverá necessidade de rebaixamento do freático. Essa operação poderá ser feito por bombeamento direto, fazendo apenas a condução das águas para os pontos mais baixo.

5.7 – TRATAMENTO DAS FUNDAÇÕES

O tratamento das fundações será executado com sonda rotativa diâmetro $\phi=N\text{X}$ (75,3mm) e equipamento roto-percursor. Os furos serão executados por montante sobre uma laje solidária ao maciço da barragem e terão profundidades variando de 12,00m entre as estacas 13+10 e 18+10, 9,0m entre as estacas 12+6,0 e 13+8,0 e 18+12,0 e 19+14,0 e 6,0 metros entre as estacas 8+6,0 e 12+4,0 e 19+16,0 e 20+14,0. Os furos serão verticais e fisicamente ficarão em uma mesma linha. Eles receberão as denominações de furos exploratórios, primários e secundários. Os furos exploratórios serão executados de 20 em 20 metros. Esses furos serão executados com sonda rotativa diâmetro $\phi=N\text{X}$ (75,30mm). Os furos primários e secundários ficarão espaçados de 4,0 em 4,0 metros e são defasados de 2,0 metros.

A maneira de executar os furos, as caldas a serem utilizadas bem como os critérios de paralisação são indicados no Volume de Especificações Técnicas.

O projeto de injeção é apresentado em planta e perfil nos desenhos I-2-MA-32/35-010 no Volume 2.

5.8 – SISTEMA DE DRENAGEM

Para aliviar as tensões sob o maciço foi projetado um sistema de drenagem que será executado de dentro da galeria após a conclusão das injeções. Os furos de drenagem serão executados com sonda rotativa com diâmetro $\phi=N\text{X}$ (75,3mm) e terão comprimentos de 18,00m entre as estacas 13+10 e 18+9,0, 15,00m entre as estacas 12+7,0 e 13+9,0 e 18+4,0 e 19+15,0 e 12,00m entre as estacas 8+7,0 e 12+5,0 e 19+17,0 e 20+15,0. Os furos serão espaçados de 2,0 em 2,0 metros. Os furos serão localizados conforme pode ser visto nos desenhos I-2-MA-32/35-010.

5.9 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Entre todos os materiais pesquisados para construção da barragem serão usados na construção os materiais do areal A-01 e materiais da pedreira P-01 de rocha gnaisse com Los Angeles de 22%.

5.10 – CARACTERÍSTICAS DO BARRAMENTO

Partindo-se do eixo levantado em campo foi feita a otimização do posicionamento do eixo. Esse novo eixo foi estaqueado da estaca 0+0,00 à estaca 30+0,00. Os dois eixos podem ser vistos no Desenho I-2-MA-02/35-010.

Concebeu-se a barragem em maciço de CCR (concreto compactado a rolo) entre as estacas 5+7,00 e 22+15,00, como pode ser visto no perfil longitudinal no

Desenho I-2-MA-12/35-010.

No relatório de consolidação da 52ª Reunião do Painel de Inspeção e Segurança de Barragens comenta que pode ser objeto de consideração por ocasião do projeto executivo, a borda livre nula ou mesmo um galgamento sobre os trechos normalmente não submersíveis para a cheia decamilenar. No relatório do PISB, datada de novembro/2004, na página 17, está escrito que “a crista da barragem nos encontros pode ser rebaixada cerca de 1,0 a 2,0m, aceitando-se extravasamentos nas condições da cheia de 10.000 anos”. Desta forma, estabeleceu-se que a cota da crista da barragem é a 361,50m, ficando a barragem sujeita ao galgamento na cheia de recorrência decamilenar.

A parte central da barragem com 80,00m de largura. Com soleira na cota 355,00m que corresponde a uma acumulação de 20,60hm³.

A lâmina vertente da cheia milenar é de 6,0m. A água vertente desce num vertedouro em perfil creager e entra em trecho em tangente com inclinação de 1:0,70. A água da cheia é despejada sobre uma laje de concreto armado com topo na cota 334,50m. A laje tem 20,00m de extensão. No final da extremidade da laje foi projetado um redente de amarração que tem dimensões de 1,50m por 2,0m de profundidade. Esse redente será chumbado ao maciço rochoso. Correspondente à laje foi projetado dois muros laterais com coroamento na cota 342,50m o muro será, também, de CCR e tem inclinação de 1:0,70m. A bacia projetada corresponde à formação de ressalto pleno de uma cheia de 500m³/s. Cheias maiores completarão o ressalto da bacia e estarão sobre rocha sã. O que levou o Consórcio Projetista a optar por essa solução foi o fato de que essas cheias extremas são muito eventuais e no caso de uma ocorrência as estruturas da barragem suportarão os poucos momentos de passagem da cheia.

O trecho insubmersível tem largura do coroamento de 6,50m incluindo os guardas corpos. A seção tem um trecho de 3,0m de altura com largura de 6,50m e a partir desse ponto forma um talude para jusante na inclinação de 1:0,70 (V:H).

A barragem é toda formada em módulo de 20,00m de extensão. Há um dreno formado e um envolvimento na junta com uma junta de impermeabilização tipo Fungenband.

A galeria de inspeção será implantada entre as estacas 8+5,0 e 20+15. No trecho entre as estacas 8+5,0 e 13+0,75 e 18+17,45 e 20+15,00 ela será inclinada e no trecho entre as estacas 13+0,75 e 18+17,45 ela será horizontal na cota 343,00m.

No trecho vertente existe uma camada de concreto de face com $f_{ck} \geq 25\text{MPa}$ em montante e jusante. Nos trechos não submersível esse concreto de face existe só no

paramento de montante.

5.11 – TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 10+5,00m do eixo barrável pela a ombreira direita. A tomada d'água terá extensão de 17,50m e será constituída de uma galeria tubular de diâmetro $\phi=0,300\text{m}$ em aço ASTM A-36. O eixo da galeria ficará na cota 346,55m. O corpo do tubo será envolto em concreto estrutural. A tomada d'água foi projetada para regularizar uma vazão de $0,140\text{m}^3/\text{s}$ com velocidade de $2,0\text{m/s}$.

No lado de montante, o extremo da tubulação será protegido por uma grade de barra de ferro chato de malha #100mm x 100mm.

No lado de jusante será construída uma caixa de concreto armado com três células. Na primeira célula serão colocados os equipamentos hidromecânicos de controle da vazão que são constituídos de um registro de gaveta e uma válvula borboleta. As águas que passarem por esses equipamentos chegarão na segunda célula que tem a função de dissipar a energia cinética. Finalmente, a terceira célula é um tanque tranquilizador com uma saída que dispõe de vertedouro triangular isósceles que permite pela sua equação que se façam as medidas de vazões a partir do nível d'água sobre o vértice da soleira.

Após a caixa de dissipação no início do trecho do canal de restituição, está previsto uma proteção com material granular com a finalidade de evitar a erosão provocado pelo fluxo das águas efluentes da tomada d'água. A proteção do canal de restituição será constituída por material granular obtido do produto de britagem, o mesmo aplicado no talude de jusante do maciço, em uma extensão de 5,00m, com 0,30m de espessura. Neste segmento, tanto a base do canal como as suas paredes estarão protegidas. As paredes do canal de restituição serão protegidas desde a sua base até a sua crista.

A Barragem será operada entre os níveis de cota 355,00m e 349,00m, onde os volumes são de $20,60\text{hm}^2$ que corresponde a 100% de capacidade e $5,70\text{hm}^3$ que corresponde a 27,6% da capacidade.

As escavações obrigatórias atingirão as cotas que permite a implantação da tomada d'água de acordo com as cotas projetadas.

O trecho da tomada d'água a jusante do filtro vertical será todo envolvido por areia grossa do tapete drenante. Da mesma forma o dreno de pé no local da tomada d'água será construído envolvendo a galeria.

5.12 – DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

O trecho do Vertedouro tem 80,00m de largura medido pelo perfil creager.

A determinação da geometria do perfil creager foi feito seguindo os preceitos do “Bureau of Reclamation”, o perfil é definido dentro do plano cartesiano x-y cuja origem é colocada na crista da ogiva. Para jusante o perfil segue a equação: $\frac{y}{H_0} = -K \left(\frac{x}{H_0} \right)^n$,

onde:

(X, Y) = um ponto sobre o perfil

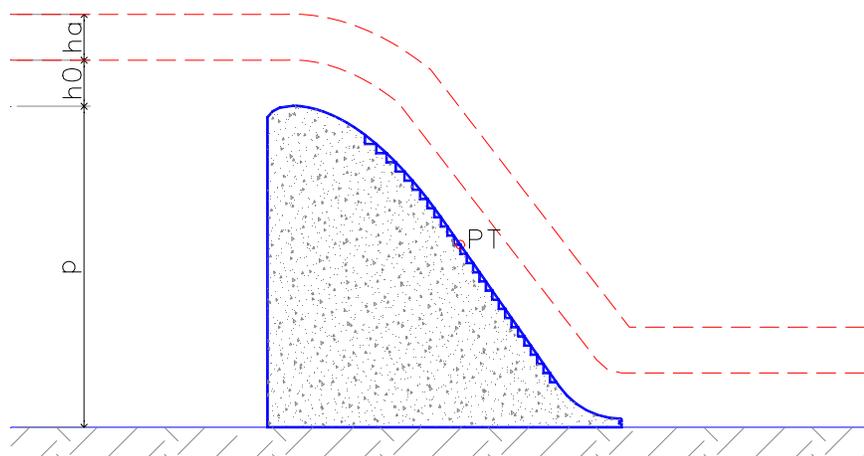
H_0 = carga total sobre a crista da ogiva, incluindo a carga cinética

K, n = são coeficientes extraídos dos ábacos do “Bureau of Reclamation”

A partir de uma determina declividade o perfil de jusante passa a assumir uma feição retilínea até próximo do pé da barragem onde é feito uma concordância circular para inverter o fluxo.

Para montante o paramento é vertical com uma concordância com duas curvas circulares (curva composta) para atingir a crista da ogiva.

O dimensionamento da geometria é mostrada a seguir:



Vazão milenar $Q_{1000} = 2466,00m^3 / s$

$$L = 80,00m$$

$$q = \frac{2466}{80,0} = 30,82m^3 / s / m$$

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

$$h_0 = 6,0m \text{ dos estudos hidrológicos}$$

$$h_a = \frac{30,82^2}{2 \times 9,81 \times (21 + 6,0)^2} = 0,07$$

$$H_0 = 6 + 0,07 = 6,07$$

$$\frac{h_a}{H_0} = 0,01$$

$$K = 0,502$$

$$n = 1,867$$

Equação de Jusante

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

$$\frac{y}{6,07} = -0,502 \cdot \left(\frac{X}{6,07} \right)^{1,867}$$

$$Y = -0,105 \cdot X^{1,867}$$

$$\frac{dy}{dx} = -0,196 \cdot X^{0,867}$$

Determinação de X_T

Fazendo $\frac{dy}{dx} = -1,25$ que corresponde uma inclinação de 1:0,70 (V:H), tem-

se:

$$-0,196 \times X^{0,867} = -1,42$$

$$X_T = \left[\frac{1,42}{0,196} \right]^{1/0,867} = 9,81m$$

$$Y_T = -7,50m$$

Cálculo dos elementos de montante:

$$\frac{X_c}{H_0} = 0,277 \Rightarrow X_c = 1,68$$

$$\frac{Y_c}{H_0} = 0,123 \Rightarrow Y_c = 0,75$$

$$\frac{R_1}{H_0} = 0,525 \Rightarrow R_1 = 3,18$$

$$\frac{R_2}{H_0} = 0,227 \Rightarrow R_2 = 1,37$$

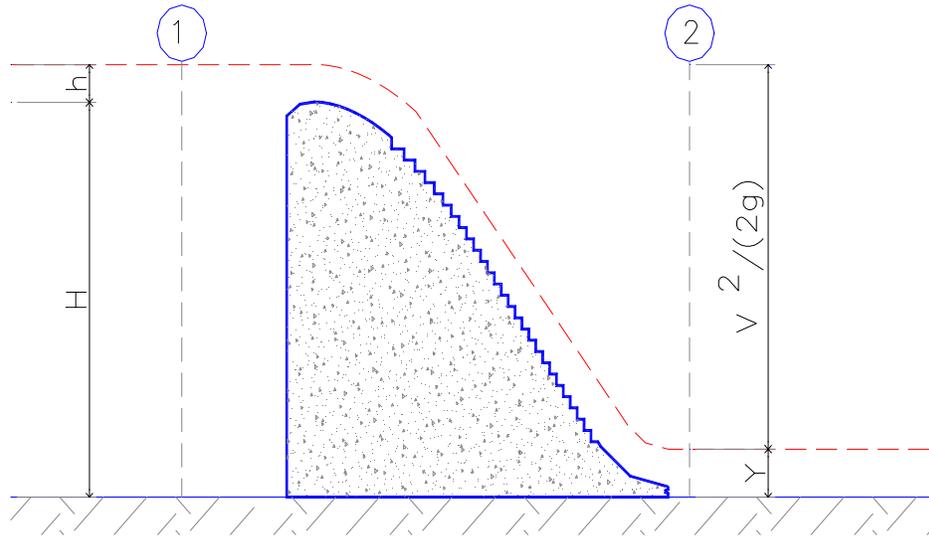
As coordenadas são mostradas no quadro a seguir:

X	$Y = -1,105 \cdot X^{1,867}$
0,000	0,000
0,250	-0,008
0,500	-0,029
1,000	-0,105
1,500	-0,224
2,000	-0,383
2,500	-0,581
3,000	-0,817
3,500	-1,089
4,000	-1,397
4,500	-1,741
5,000	-2,119
5,500	-2,532
6,000	-2,979
6,500	-3,459
7,000	-3,972
7,500	-4,518
8,000	-5,096
8,500	-5,707
9,000	-6,350
9,500	-7,024
9,810	-7,458

5.12.1 – Dimensionamento da Bacia

O dimensionamento do comprimento da bacia foi feito inicialmente para a cheia

milénar e depois verificado para vazões menores. Considerou-se a conservação da energia entre os pontos de entrada e saída.



$$H = 21,00m$$

Para $Q_{1000} = 2466m^3 / s$

$$q = \frac{2466}{80} = 30,82m^3 / s / m$$

$$H_0 = h + h_a = 6,07m$$

$$V = \frac{q}{y}$$

$$E_1 = E_2$$

$$27,07 = y + \frac{48,41}{y^2}$$

Resolvendo por iteração, tem-se:

$$y = 1,38m$$

$$F_R = \frac{V}{\sqrt{g \times d}}$$

$$V = \frac{q}{y} = 22,33m / s$$

$$F_R = \frac{22,33}{\sqrt{9,81 \cdot 1,38}} = 6,06$$

– Determinação da Altura Conjugada

$$\frac{y_2}{y} = \frac{1}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \times 6,06^2} - 1 \right]$$

$$d_2 = 11,15$$

– Comprimento da Bacia de Dissipação

$$L \geq 6 \times 11,15 = 66,90m$$

Para $Q = 2000m^3/s$

$$q = 25,00m^3 / s / m$$

$$V = \frac{q}{y}$$

$$Q = C \times L \times H_0^{3/2}$$

$$H_0 = \left[\frac{Q}{C \times L} \right]^{2/3}$$

$$H_0 = \left[\frac{2000}{2,10 \times 80,00} \right]^{2/3} = 5,21m$$

$$E_1 = 21,00 + 5,21 = 26,21$$

$$26,21 = y + \frac{31,85}{y^2}$$

Resolvendo por iteração, tem-se:

$$y = 1,13m$$

$$V = \frac{25,00}{1,13} = 22,12m / s$$

$$F_R = \frac{22,12}{\sqrt{g \times 1,13}} = 6,64$$

$$\frac{d_2}{y} = \frac{1}{2} \times \left[\sqrt{1 + 8 \times 6,64^2} - 1 \right]$$

$$d_2 = 10,06m$$

– Comprimento da Bacia

$$L \geq 6 \times 10,06 = 60,36m$$

Para $Q = 1000 \text{ m}^3 / \text{s}$

$$H_o = \left[\frac{Q}{C \times L} \right]^{2/3}$$

$$H_o = \left[\frac{1000}{2,10 \times 80} \right]^{2/3} = 3,28 \text{ m}$$

$$E_1 = 21 + 3,28 = 24,28 \text{ m}$$

$$24,28 = y + \frac{7,96}{y^2}$$

Resolvendo por iteração, tem-se:

$$y = 0,58 \text{ m}$$

$$V = \frac{12,50}{0,58} = 21,55 \text{ m / s}$$

$$F_R = \frac{21,55}{\sqrt{9,81 \times 0,58}} = 9,03$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \times \left[\sqrt{1 + 8 \times 9,03^2} - 1 \right]$$

$$d_2 = 7,12$$

– Comprimento da Bacia

$$L \geq 6 \times 7,12 = 42,72 \text{ m}$$

Para $Q = 500 \text{ m}^3 / \text{s}$

$$H_o = \left[\frac{500}{2,10 \times 80} \right]^{2/3} = 2,06 \text{ m}$$

$$E_1 = 21 + 2,06 = 23,06 \text{ m}$$

$$23,06 = y + \frac{1,99}{y^2}$$

Resolvendo por iteração, tem-se:

$$y = 0,29m$$

$$V = \frac{6,25}{0,29} = 21,55m / s$$

$$F_R = \frac{21,55}{\sqrt{9,81 \times 0,29}} = 12,77$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{1}{2} \times \left[\sqrt{1 + 8 \times 12,77^2} - 1 \right]$$

$$d_2 = 5,09$$

– Comprimento da Bacia

$$L \geq 6 \times 5,09 = 30,54m$$

O muro de proteção lateral só será encoberto para sangrias maiores do que 500m³/s.

5.12.2 – Dimensionamento dos Chumbadores

Para o dimensionamento dos chumbadores foi considerado a água no nível normal, ou seja, cota 355,00 e saturação do maciço de jusante.

A carga máxima é de **21,00tf / m²**. A malha entre os chumbadores é de 1,50m x 1,50m, portanto, a carga máxima no chumbador é de **27,00tf**.

A capacidade do chumbador é dada pela expressão:

$F = \pi \times D_d \times L_s \times |C' + (\gamma \times h + \Delta P) \times tg\phi|$, conhecida como fórmula brasileira de (Nunes 1987).

F = capacidade de carga do Bulbo;

D_d = diâmetro da escavação = 0,10m

L_s = comprimento do bulbo = 5,50m

C' = adesão entre calda e rocha, tomada igual à 70tf/m²

γ = massa específica da rocha = 1,8tf/m³

h = profundidade do centro do bulbo = 1,50m

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

ϕ = ângulo de atrito real do solo = 40°

Aplicando na expressão, temos:

$$F = \pi \times 0,10 \times 3,50 \times [70 + 1,80 \times 1,50 \times \text{tg}40^\circ]$$

$F = 68,10$ pelo cálculo, mas como o aço só resiste a $24,5tf$, então:

$F = 24,54$ que é próximo de $27,00tf$ que foi calculado em hipótese plenamente desfavorável, ou seja, sem contar com a cortina de injeção e o sistema de drenagem, portanto será aceito.

5.13 – ANÁLISE DE ESTABILIDADE

A análise da estabilidade do maciço foi efetuada para as seções submersível e insubmersível.

Na seção submersível foi adotado o nível normal, ou seja, cota 355,0m foi considerado, ainda, o sistema de drenagem com eficiência de 25%.

Na seção insubmersível foi considerado o nível d'água na cota de vazão milenar, ou seja, 361,00m.

Em ambas as seções foram feitas as simulações de análise do tombamento, análise do escorregamento e análise das tensões.

Foram adotados os seguintes parâmetros.

- Peso Específico de Água..... $\gamma_w = 1,0tf / m^3$;
- Peso Específico de CCR..... $\gamma_{CCR} = 2,25tf / m^3$;
- Ângulo de Atrito Maciço x Rocha..... $\phi = 35^\circ$;
- Coesão de Interface Maciço x Fundação..... $C = 10tf / m^2$.

6 - CANTEIRO DE OBRA

O canteiro de obra será implantado em um platô próximo da jazida de solos pela margem esquerda do Riacho Conceição.

O acesso ao canteiro aos centros habitacionais próximos pode ser feito o ano inteiro por estradas vicinais existentes e deverão passar por um processo de melhorias para receber o tráfego bem mais intenso que acontecerá por ocasião da construção da obra.

As instalações mínimas previstas para o canteiro de obras são mostradas no **Quadro N°6.1:**

Quadro N°6.1: Canteiro de Obra	
Item	Descrição
01	Escritório da Administração
02	Laboratório de Solo e Concreto
03	Depósito de Cimento
04	Posto de Abastecimento de Combustível
05	Oficina Mecânica
06	Almoxarifado
07	Carpintaria
08	Ferraria
09	Armação e Moldagem
10	Alojamento para Pessoal de Apoio
11	Eletrificação
12	Escritório de Supervisão
13	Ambulatório

Salienta-se que esse local atualmente não é alimentado por energia elétrica e portanto deve-se construir cerca de 10 km de rede elétrica.

7 – EQUIPAMENTO MÍNIMO

7 - EQUIPAMENTO MÍNIMO

Para cumprimento do Cronograma de implantação prevista no projeto, será necessário alocar a quantidade mínima de equipamento indicado nos **Quadros N°7.1 e 7.2**:

Quadro N°7.1: Relação dos Equipamentos do Laboratório		
Item	Especificação	Quant. Mínima
1	Conjuntos para determinação da densidade de campo pelo método do frasco de areia	3
2	Cilindro biselado para determinação de densidade nos aterros argilosos	6
3	Conjuntos completos para análise granulométrica por peneiramento, por via seca e úmida	2
4	Conjuntos completos para determinação dos Limites de Atterberg	2
5	Conjuntos completos para ensaios de compactação (Proctor Normal)	3
6	Conjuntos completos para ensaios de sedimentação e massa específica real dos solos	10
7	Equipamentos completos (estufas, cápsulas, balanças, bandejas, provetas, etc.), capazes de atender à solicitação do laboratório, para solos, ligantes e misturados	1
8	Conjuntos completos para ensaios de finura e de pega de cimento	1
9	Moldes para corpos de prova cilíndrico de concreto	50
10	Prensa para rompimento de corpos de prova de argamassa de concreto, com capacidade de 100,0 ton	1
11	Acessórios necessários ao preparo de traços de concreto e de argamassa, moldagem e cura de corpos de prova, etc.	1
12	Conjunto completo para ensaio de abatimento em concreto ("Slump test")	3
13	Conjunto completo para ensaio colorimétrico em areias	2
14	Frasco de Chapman	2
15	Equipamentos complementares necessários ao funcionamento do laboratório nos setores de agregados, cimento e concreto (estufas, balanças, cápsulas, bandejas, etc.)	1

Quadro N°7.2: Equipamento Mínimo		
Item	Descrição	Quant. Mínima
1	Trator de esteira com potência igual ou superior a 270HP	2
2	Trator de esteira com potência igual ou superior a 140HP	2

Quadro Nº7.2: Equipamento Mínimo

Item	Descrição	Quant. Mínima
3	Trator de pneus com potência igual ou superior a 100HP	2
4	Carregadeira de pneus com potência igual ou superior a 170HP	4
5	Motoniveladora com potência igual ou superior a 125HP	2
6	Grade de disco pesada	2
7	Caminhão pipa com capacidade de 8000l	5
8	Caminhão basculante com capacidade de 12m ³	15
9	Rolo liso duplo Tandem autopropulsor do tipo CC 431 DYNAPAC ou similar	1
10	Rolo pé de carneiro tipo CA-25 DYNAPAC	2
11	Retro escavadeira sobre esteira com capacidade de 1,8m ³	1
12	Conjunto de britagem com capacidade de 50m ³ /h	1
13	Compressor de ar com capacidade igual ou superior a 700pcm (pés cúbicos por minuto)	2
14	Carreta de perfuração com capacidade igual ou superior a 500pcm	2
15	Compressor de ar portátil com capacidade superior a 250pcm	2
16	Sapo mecânico	4
17	Martelete de 24kg	5