



Julho de 2002

**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**



**SRH** Secretaria dos Recursos Hídricos

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

**BARRAGEM MISSI**

**MÓDULO II - Estudo dos Impactos Ambientais  
Decorrentes da Construção dos  
Reservatórios (EIA/RIMA)**

**Relatório de Estudos Básicos**



**MONTGOMERY WATSON**





MONTGOMERY WATSON



## ÍNDICE

---

**ÍNDICE**

	<b>Páginas</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>1</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>3</b>
<b>2. ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS</b> .....	<b>5</b>
<b>3. O PROJETO</b> .....	<b>14</b>
3.1. <i>Identificação do Empreendedor</i> .....	15
3.2. <i>Localização e Acessos</i> .....	15
3.3. <i>Usos Múltiplos do Reservatório</i> .....	18
3.4. <i>Estudos de Alternativas</i> .....	18
3.5. <i>Estudos Básicos</i> .....	27
3.5.1. Estudos Topográficos .....	27
3.5.2. Estudos Hidrológicos .....	28
3.5.3. Estudos Geológicos/Geotécnicos .....	33
3.5.3.1. Geologia .....	33
3.5.3.2. Geotecnia .....	34
3.5.3.3. Materiais de Empréstimos .....	38
3.6. <i>Concepção E Dimensionamento DO Projeto</i> .....	41
3.6.1. Arranjo Geral das Obras .....	41
3.6.2. Barragem Principal .....	42
3.6.3. Barragens Auxiliares .....	43
3.6.4. Sangradouro .....	44
3.6.5. Tomada D'água .....	44
3.6.6. Tratamento da Fundação .....	45
3.6.7. Análise de Estabilidade .....	47
3.6.8. Estudos de Percolação da Barragem .....	50
3.6.9. Análise dos Recalques .....	51
3.6.10. Ficha Técnica .....	52
3.6.11. Quantitativos e Custos do Projeto .....	54
3.6.12. Cronograma de Construção .....	54
3.6.13. Projeto da Adutora de Amontada .....	55
3.7. <i>Planos e Programas Colocalizados</i> .....	62



MONTGOMERY WATSON



## 1. INTRODUÇÃO

---



## 1. INTRODUÇÃO

O Consórcio Montgomery-Watson/Engesoft e a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE) celebraram o Contrato nº02/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001, que tem como objetivo os Estudos de Alternativas, EIA/RIMAs, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamentos e Avaliações Financeiras e Econômicas dos Projetos das Barragens João Guerra, Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada. A ordem de serviços foi emitida em 05 de março de 2001.

O presente trabalho compõe o Relatório dos Estudos Básicos do Projeto da Barragem Missi, dentro do Módulo II – Estudo dos Impactos no Meio Ambiente decorrentes da construção e operação do reservatório, cuja composição aborda os seguintes capítulos:

- Introdução;
- Aspectos Legais e Institucionais;
- Projeto.



MONTGOMERY WATSON



## **2. ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS**

---



## 2. ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS

O Estado do Ceará vem sendo constantemente assolado por secas periódicas, razão pela qual o aproveitamento dos recursos hídricos é de fundamental importância para o seu processo de desenvolvimento. Tendo em vista que o problema de escassez da água associado ao crescimento acelerado da população, vem provocando o aparecimento de regiões cujas potencialidades hídricas estão esgotadas ou sujeitas a racionamento do uso da água nos períodos de estiagens prolongadas, torna-se necessário a implantação de reservatórios e de sistemas adutores para o atendimento da demanda. No entanto, faz-se necessário a implementação de um planejamento racional que considere em seu bojo os efeitos da degradação ambiental decorrentes da construção deste tipo de empreendimento.

Desta forma, é de suma importância o conhecimento do suporte institucional existente, tendo para tanto sido elaboradas sínteses dos aspectos legais e institucionais que regem a legislação ambiental vigente, as quais são esboçadas a seguir.

A Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pelas Leis nº 7.804/89 e 8.028/90 e regulamentada pelo Decreto nº 99.274/90, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, definindo diretrizes gerais de conservação ambiental, compatibilizando o desenvolvimento das atividades econômicas com a preservação do meio ambiente. Dentre às políticas ambientais a nível federal, pertinentes a projetos hidráulicos e ao meio ambiente, destacam-se os seguintes dispositivos legais:

- Constituição Federal;
- Decreto nº 88.351, de 01 de junho de 1983: regulamenta a Lei nº 6938/81 e estabelece no seu Capítulo IV os critérios para licenciamento das atividades modificadoras do meio ambiente;



- Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986 (modificada no seu Artigo 2º pela Resolução CONAMA nº 011, de 18/03/86) : estabelece definições, responsabilidades , critérios básicos e diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente;
- Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934: decreta o Código das Águas;
- Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (alterada pela Lei nº 7.803, de 18/07/89): institui o Código Florestal;
- Resolução CONAMA nº 004, de 18 de setembro de 1985 (alterada pela Lei nº 7.803/89): define critérios, normas e procedimentos gerais para a caracterização e estabelecimento de reservas ecológicas;
- Resolução CONAMA nº 020, de 18 de junho de 1986: estabelece a classificação e os padrões de qualidade das águas doces, salobras e salinas do território nacional;
- Lei nº 3.824, de 23 de novembro de 1960: exige o desmatamento da área da bacia hidráulica de reservatórios;
- Lei nº 5.197, de 03 de janeiro de 1967: dispõe sobre a proteção à fauna;
- Portaria SUDEPE nº N-0001, de 04 de janeiro de 1977: dispõe sobre a observância de medidas de proteção à fauna aquática nos projetos de construção de barragens;
- Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1991: dispõe sobre a criação de estações ecológicas e áreas de proteção ambiental;
- Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997: institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;



- Portaria MINTER nº 124, de 20 de agosto de 1980: baixa normas no tocante à prevenção de poluição hídrica;
- Decreto nº 28.481, de 07 de dezembro 1940: dispõe sobre a poluição das águas;
- Lei nº 7.754, de 14 de abril de 1989: estabelece medidas para proteção das florestas existentes nas nascentes dos cursos d'água;
- Decreto nº 84.426, de 24 de janeiro de 1980: dispõe sobre erosão, uso e ocupação do solo, poluição da água e poluição do solo;
- Decreto nº 89.336, de 31 de janeiro de 1984: dispõe sobre reservas ecológicas e áreas de relevante interesse ecológico e dá outras providências;
- Resolução CONAMA nº 011, de 18 de março de 1986: altera e acrescenta incisos na Resolução CONAMA nº 001/86 que torna obrigatória a elaboração de estudos de impacto ambiental para determinados tipos de empreendimentos;
- Resolução CONAMA nº 005, de 15 de junho de 1988: exige o estabelecimento de processo licenciatório para as obras de captação de projetos de sistemas de abastecimento d'água, cuja vazão seja acima de 20,0% da vazão mínima da fonte hídrica, no ponto de captação, e que modifiquem as condições físicas e/ou bióticas dos corpos d'água;
- Portaria Interministerial nº 917, de 06 de junho de 1982: dispõe sobre a mobilização de terra, poluição da água, do ar e do solo;
- Resolução CONAMA nº 006, de 24 de janeiro de 1986: institui e aprova modelos para publicação de pedidos de licenciamento, sua renovação e respectiva concessão;



- Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997: revisa os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental.
- Resolução CONAMA nº 009, de 03 de dezembro de 1987: regulamenta a questão das audiências públicas;
- Decreto-Lei nº 95.733, de 12 de fevereiro de 1988: dispõe sobre a inclusão no orçamento dos projetos e obras federais, de recursos destinados a prevenir ou corrigir os prejuízos de natureza ambiental, cultural e social decorrentes da execução desses projetos e obras.

Por fim, a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

Quanto às políticas ambientais a nível federal, pertinentes a proteção do patrimônio pré-histórico, destacam-se os seguintes dispositivos legais:

- Decreto-Lei no 4.146, de 04 de março de 1942: dispõe sobre a proteção dos depósitos fossilíferos;
- Lei no 3.924, de 26 de julho de 1961: dispõe sobre a proteção dos monumentos arqueológicos e pré-históricos;
- Resolução CONAMA no 005, de 06 de agosto de 1987: aprova o Programa Nacional de Proteção ao Patrimônio Espeleológico;
- Portaria no 07, de 01 de dezembro de 1988, da Secretaria do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional: estabelece os procedimentos necessários para pesquisa e escavações em sítios arqueológicos;
- Portaria IBAMA no 887, de 15 de junho de 1990: dispõe sobre a proteção do patrimônio espeleológico nacional;



- Decreto no 99.556, de 01 de outubro de 1990: dispõe sobre a proteção das cavidades naturais subterrâneas existentes no Território Nacional e dá outras providências;
- Portaria IBAMA no 57, de 05 de junho de 1997: institui o Centro Nacional de Estudo, Proteção e Manejo de Cavernas - CECAV, que tem por finalidade normatizar, fiscalizar e controlar o uso do patrimônio espeleológico brasileiro;
- Lei no 7.347, de 24 de julho de 1985: disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, ao consumidor, a bens e direitos de valor artístico, estético, histórico, turístico e paisagístico, e dá outras providências.

A penalização pelo não cumprimento da legislação pertinente ao patrimônio pré-histórico citada é prevista no Código Penal Brasileiro (Parte especial, Título II - Dos crimes contra o patrimônio, Capítulo IV - Do dano).

O sistema de controle ambiental no Ceará é integrado pela Secretaria da Ouvidoria Geral e Meio Ambiente, criada pela Lei nº 13.093, de 08 de janeiro de 2001, à qual encontram-se vinculados o Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA) e a SEMACE, ambos criados pela Lei nº 11.411, de 28 de dezembro de 1987, que dispõe sobre a Política Estadual do Meio Ambiente. Os dispositivos legais a nível estadual, pertinentes a projetos hidráulicos e ao meio ambiente são os seguintes:

- Constituição Estadual;
- Lei nº 10.148, de 02 de dezembro de 1977: dispõe sobre a preservação e controle dos recursos hídricos existentes no estado e dá outras providências;



- Portaria SEMACE nº 14, de 22 de novembro de 1989: estabelece normas técnicas e administrativas do sistema de licenciamento de atividades utilizadoras dos recursos ambientais no Estado do Ceará;
- Portaria SEMACE nº 097, de 03 de abril de 1996: estabelece padrões de lançamentos nos corpos receptores para efluentes industriais e de outras fontes de poluição hídrica;
- Lei nº 12.524, de 19 de dezembro de 1995: considera impacto sócio-ambiental relevante em projetos de construção de barragens, o deslocamento das populações habitantes na área a ser inundada pelo lago formado e dá outras providências;
- Lei nº 11.996, de 24 de julho de 1992: dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos no Estado do Ceará, o qual está a cargo da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH).

Por sua vez, o Decreto nº 23.067, de 11 de fevereiro de 1994, regulamenta o Artigo 4º da Lei nº 11.996/92, na parte referente à outorga de direito do uso dos recursos hídricos e cria o Sistema de Outorga para Uso da Água. Segundo reza o referido decreto, dependerá de prévia outorga da Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), o uso de águas dominiais do Estado que envolva:

- Derivação ou captação de parcela dos recursos hídricos existentes num corpo d'água, para consumo final ou para insumo de processo produtivo;
- Lançamento num corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos e gasosos com o fim de sua diluição, transporte e assimilação;
- Qualquer outro tipo de uso que altere o regime, a quantidade e a qualidade da água.



Ressalta-se que, no caso específico do lançamento de esgotos e de outros resíduos líquidos nos corpos d'água, a concessão de outorga pela SRH, ainda, não está sendo posta em prática. Tal fato tem como justificativa a complexidade que envolve o assunto decorrente, principalmente, da intermitência da quase totalidade dos cursos d'água do Estado.

O pedido de outorga de direito de uso de águas deverá ser encaminhado à SRH através do preenchimento de formulário padrão fornecido por esta, na qual deverá constar informações sobre destinação da água; fonte onde se pretende obter a água; vazão máxima pretendida; tipo de captação da água, equipamentos e obras complementares, bem como informações adicionais para a aprovação do pedido.

Quando a outorga envolver obras ou serviços de oferta hídrica sujeitos à licença prévia da SRH, conforme previsto no Decreto nº 23.068, de 11 de fevereiro de 1994 (açudes, transposição de água bruta, barragem de derivação ou regularização de nível d'água, e poços), será obrigatória a apresentação desta, aproveitando-se sempre que possível os dados e informações já apresentados para o licenciamento.

Muito embora, tenha aplicação, em termos legais, restrita aos recursos hídricos da Região Metropolitana de Fortaleza, é considerado relevante para o empreendimento ora em pauta, as normas preconizadas pela Lei nº 10.147, de 01 de dezembro de 1977, que dispõe sobre o disciplinamento do uso do solo para fins de proteção dos recursos hídricos.

Merece, ainda, menção, embora não constitua dispositivo legal, o Plano Estadual de Recursos Hídricos elaborado pela SRH em meados de 1991, e a proposta para enquadramento dos principais cursos d'água do Estado do Ceará, elaborada pela SEMACE, tendo como base à classificação preconizada pela Resolução CONAMA nº 020/86. A referida resolução estabelece padrões de qualidade para os cursos d'água em função de seus usos preponderantes e da sua capacidade de



autodepuração. A nível municipal figuram como dispositivos legais as leis orgânicas dos municípios de Miraíma e Amontada.

Como as terras a serem inundadas pelo futuro reservatório pertencem a terceiros, faz-se necessária a elaboração de um plano de desapropriações. Com base nessa premissa, o Consórcio Montgomery Watson/Engesoft está executando para SRH o levantamento cadastral dos imóveis na área diretamente afetada pelo projeto. A desapropriação deverá ser efetivada através de Decreto Estadual Específico, ficando a cargo do órgão empreendedor, no caso, a SRH, a negociação e aquisição parcial ou total dos imóveis que são abrangidos em parte, ou na sua totalidade pela área de inundação máxima futura e pela faixa de proteção do futuro reservatório.

O órgão empreendedor do projeto é a SRH. Os recursos financeiros necessários à implantação do empreendimento serão oriundos do Governo do Estado e de empréstimos obtidos junto ao Banco Mundial - BIRD. Além do órgão empreendedor, prevê-se o envolvimento de outros órgãos governamentais na operação futura do reservatório.

Não existem conflitos envolvendo a implementação do empreendimento com outros programas do Governo, pelo contrário, a obra encontra-se inserida num programa mais amplo denominado Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PROGERIRH.



MONTGOMERY WATSON



### **3. O PROJETO**

---



### **3. O PROJETO**

#### **3.1. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR**

O órgão empreendedor do Projeto Executivo da Barragem Missi é a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH), órgão prestador de serviços, inscrito sob o CGC/MF nº 11.821.253/0001-42, estabelecido a Av. Gal. Afonso Albuquerque Lima, 01 - Centro Administrativo do Cambé, Edifício SEDUC - Bloco C, 1º e 2º Andar, no município de Fortaleza, Estado do Ceará, com telefone para contato (85) 488-8500 e FAX (85) 488-8579.

#### **3.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS**

A Barragem Missi será formada pelo barramento do rio homônimo, cuja bacia hidrográfica ocupa uma posição centro-ocidental no município de Miraíma, no Estado do Ceará. A barragem fechará o boqueirão existente na região denominada Fazenda Conceição, a 21,0 km da sede do município de Miraíma. O reservatório terá sua bacia hidráulica totalmente inclusa no território do referido município.

A Figura 3.1 apresenta a localização do empreendimento a nível regional, enquanto que o Desenho 01/04, no encarte, mostra a localização da área do projeto destacando as áreas de influência física e funcional do reservatório. A primeira, composta pela própria bacia hidráulica do reservatório e pelas áreas das obras civis, canteiro de obras, jazidas de empréstimos e bota-foras, e a segunda representada pela cidade de Amontada que será beneficiada com o abastecimento d'água; pelo vale à jusante do barramento beneficiado pela regularização de vazão e pelas áreas periféricas ao reservatório que se beneficiarão com a pesca.

Desde Fortaleza, o acesso ao sítio do barramento é feito através da BR-222 até a cidade de Umirim. A partir daí, toma-se à direita a CE-BR-402/CE-354 até a cidade de Amontada percorrendo-se cerca de 63,0 km. Toma-se, então, a rodovia



implantada CE-176, em direção a Miraíma por 15,0 km até o local denominado Juremal. O acesso ao local do barramento se faz através de uma estrada carroçável, que parte da CE-176, na qual se segue por cerca de 5,0 km até o local do boqueirão. Outra opção de percurso a partir da cidade de Amontada é através de uma estrada carroçável que parte da zona urbana e segue pela margem direita dos rios Aracatiaçu e Missi, por um percurso de 13,0 km.



Fonte: Atlas do Ceará - IPLANCE.

**FIGURA - 3.1**  
**LOCALIZAÇÃO DO PROJETO EM RELAÇÃO AO ESTADO DO CEARÁ**



O acesso aéreo é permitido somente até a cidade de Itapipoca, distante cerca de 37 km de Amontada, onde existe um campo de pouso para pequenas aeronaves. O acesso ferroviário mais próximo está na cidade de Miraíma.

### **3.3. USOS MÚLTIPLOS DO RESERVATÓRIO**

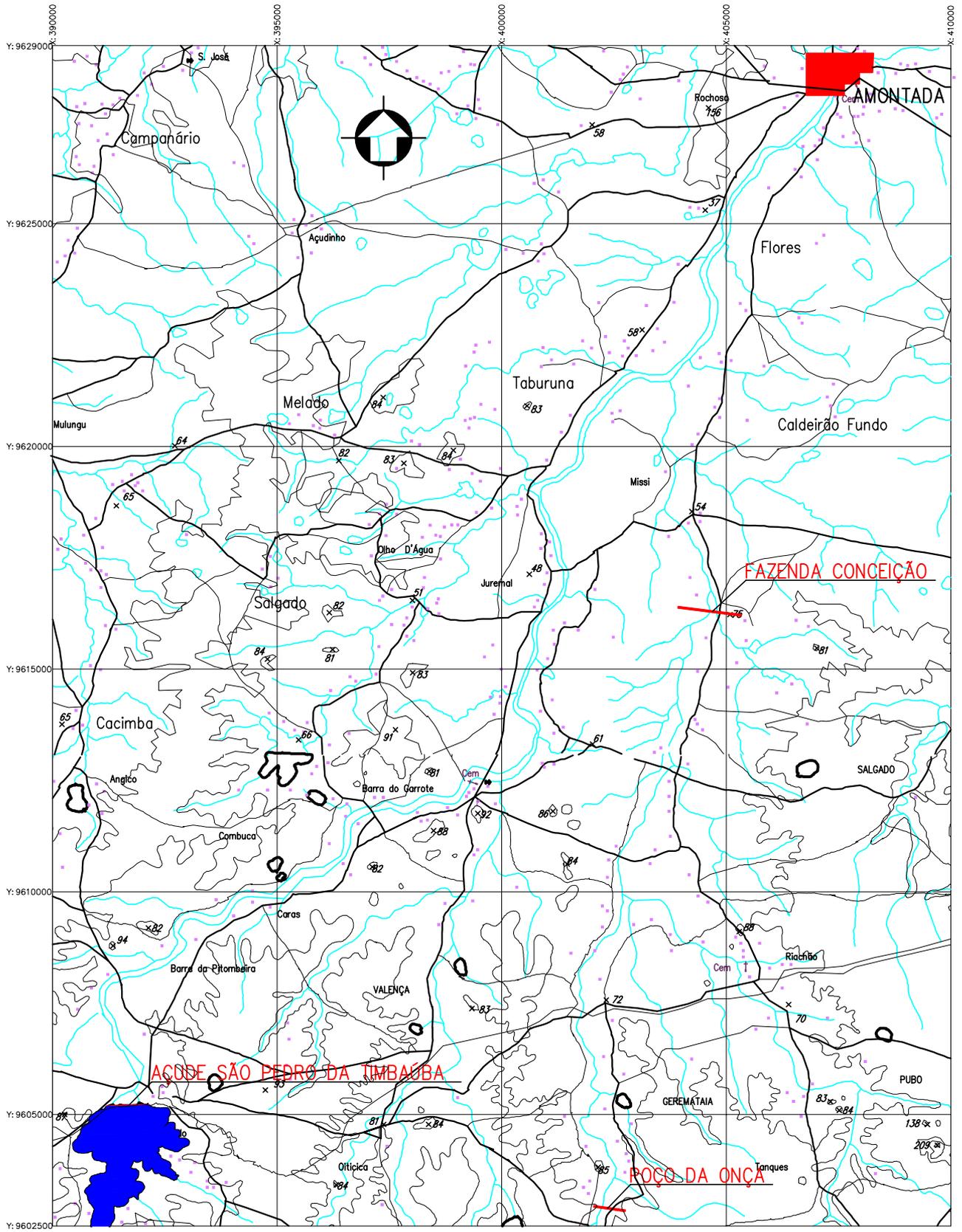
A Barragem Missi servirá para múltiplos usos, dentre os quais citam-se o abastecimento d'água regularizado à cidade de Amontada, a perenização do vale do rio Missi a jusante do barramento e o desenvolvimento da pesca. De forma complementar destacam-se o abastecimento da população ribeirinha de jusante, a dessedentação animal e a irrigação difusa, bem como o desenvolvimento da recreação e do lazer no lago a ser formado, como fontes de benefícios adicionais para a região.

### **3.4. ESTUDOS DE ALTERNATIVAS**

Para eleição das alternativas locais de barramentos foram efetuadas pesquisas de campo englobando o rio Aracatiaçu do trecho a montante de Amontada até a cidade de Miraíma; o riacho Missi, afluente da margem direita do rio Aracatiaçu, da sua confluência com o rio principal até o local conhecido como Fazenda Conceição; o trecho do riacho Missi a montante da via férrea até a localidade de Poço da Onça e o rio Cruxati, a jusante de Amontada, no trecho compreendido entre a saída dos afluentes riacho das Enxadas e riacho dos Tanques. Nos rios Aracatiaçu e Cruxati a topografia das ombreiras é muito suave não tendo sido identificado nenhum boqueirão viável.

Com base na pesquisa de campo efetuada foram selecionadas três alternativas de eixos barráveis (Eixo I – Açude São Pedro de Timbaúba, Eixo II – Fazenda Conceição e Eixo III – Poço da Onça), cujas localizações podem ser visualizadas na Figura 3.2.

**FIGURA 3.2**  
**PLANTA DE LOCALIZAÇÃO**  
**ALTERNATIVAS DOS EIXOS BARRÁVEIS**



ESCALA: 1:125.000



A primeira alternativa versa sobre a possibilidade de alteamento do açude São Pedro da Timbaúba, situado dentro da zona urbana de Miraíma e distante 28,0 km a montante de Amontada, com uma capacidade de acumulação atual de 19 milhões de m<sup>3</sup>, que equivale a apenas 24,0% do volume afluente médio anual. O alteamento proposto das cotas de coroamento e da cota de sangria seria de 2,0 m visando aumentar a acumulação do reservatório em 8,2 milhões de m<sup>3</sup>, aumentando sua capacidade de acumulação para 27,3 hm<sup>3</sup>, que representa 34,0 % do deflúvio médio anual.

A segunda opção de barramento situa-se no riacho Missi, na Fazenda Conceição, a cerca de 13 km a montante de Amontada, correspondendo ao local indicado nos estudos de hierarquização elaborados pela SRH, em meados de 1997. Foram estudadas duas opções de barragens em terra, face a possibilidade de uma grande espessura do aluvião. A primeira opção (Eixo II - a) constituiu-se de um maciço com núcleo delgado de material argiloso(CL) e espaldares de montante e jusante em solo areno-argiloso (SC). A segunda opção estudada foi uma barragem homogênea em solo CL (Eixo II - b). Para o canal de sangria foram estudadas várias combinações de larguras e tipo de soleira espessa e com vertedor Creager, tendo sido escolhido o de menor custo global.

O terceiro local viável para localização do barramento também se situa no riacho Missi, a cerca de 9,0 km da via férrea que liga Fortaleza a Sobral, próximo a localidade de Poço da Onça. Para esta alternativa foi estudada a construção de uma barragem do tipo gravidade em CCR, com vertedouro centralizado na região da calha do rio, totalizando um volume total de concreto de 65.500 m<sup>3</sup>. As condições de fundação do boqueirão apresentam-se propícias a adoção deste tipo de barragem e a região conta com fontes de agregados a pequenas distâncias. O Quadro 3.1 apresenta algumas características básicas das alternativas de barramentos estudadas, bem como seus custos de implantação e o custo do m<sup>3</sup> regularizado.



Quanto aos eixos adutores foi efetuado um estudo detalhado dos percursos considerando as opções dos eixos barráveis propostos, tendo sido levantado os custos de implantação e operação ao longo da vida útil do projeto, conforme pode ser visualizado no Quadro 3.2.

**Quadro 3.1 - Características Básicas das Alternativas de Barramento Propostas**

Discriminação	Área Inundada (km <sup>2</sup> )	Volume de Acumulação (hm <sup>3</sup> )	Vazão Regularizada (m <sup>3</sup> /s)	Custo de Implantação Relativo * (R\$)	Custo do m <sup>3</sup> Armazenado (R\$)
Eixo I	?	8,2	-	1.740.514,88	0,21
Eixo II (a)	588,30	18,03	0,314	4.058.102,09	0,23
Eixo II (b)	588,30	18,03	0,314	4.175.814,86	0,23
Eixo III	277,64	28,0	-	7.807.080	0,28

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Relatório Preliminar 4).

\* No custo de implantação relativo não constam os serviços comuns a todas alternativas

**Quadro 3.2 - Custos de Implantação dos Sistemas Adutores**

Discriminação	Extensão da Adutora (m)	DN (mm)	Custo Total (R\$)
Eixo I	14.000	200	1.128.095,65
Eixo II	32.000	200	2.578.387,33
Eixo III (a)	32.000	200	2.658.504,33
Eixo III (b)	33.000	200	3.190.899,26

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Relatório Preliminar 4).

Quanto às condições ambientais e socioeconômicas vigentes nas áreas dos eixos barráveis constatou-se que no Eixo I serão desapropriados 40 imóveis rurais, a grande maioria composta por lotes do Perímetro Irrigado pertencente ao DNOCS. O número de famílias a serem reassentadas é praticamente nulo, uma vez que apenas duas habitações serão atingidas. As interferências com infra-estruturas de uso público estão restritas a trechos de rede elétrica de baixa tensão e de estradas vicinais, além de sistemas de irrigação na área do perímetro irrigado.



A submersão de solos agricultáveis apresenta-se significativa quando comparada com os outros eixos, em face da presença de solos explorados com irrigação intensiva. Não foi constatada a presença de áreas de relevante interesse ecológico, tais como reservas indígenas, unidades de conservação, patrimônios arqueológico e paleontológico, ou com espécies endêmicas da flora ou da fauna.

Os riscos de salinização das águas represadas são considerados médios face a presença de solos salinos na bacia de contribuição, problema que é minorado pelo baixo tempo de detenção do reservatório. Em contrapartida, os riscos de poluição das águas represadas por efluentes sanitários e agrotóxicos apresentam-se relativamente elevados. Apesar do reservatório se situar imediatamente a montante da cidade de Miraíma, há riscos da cidade se desenvolver em direção a este manancial hídrico, podendo vir num futuro próximo a causar a sua poluição. Além disso, o perímetro irrigado ficara localizado em suas margens.

No Eixo II serão desapropriados 17 imóveis rurais e o contingente populacional a ser relocado é composto por 21 famílias. As interferências com infra-estruturas de uso público estão representadas por um trecho da estrada carroçável Riachão/Amontada, trechos de estradas vicinais, trechos de rede elétrica de baixa tensão e uma escola. Quanto aos solos a serem submersos observa-se o predomínio de solos salinos (Planossolos e Solonetz), bem como de solos rasos e pedregosos (Litólicos), pouco propícios à exploração agrícola. Não foi constatada a presença de áreas de relevante interesse ecológico na área do empreendimento. Os riscos de salinização das águas represadas são semelhantes aos constatados no Eixo I, enquanto que os riscos de poluição por efluentes sanitários e agrotóxicos podem ser considerados muito baixos, não tendo sido constatada a presença de áreas irrigadas e de núcleos urbanos na retaguarda do reservatório.

No Eixo III serão desapropriadas 11 imóveis rurais, dentre os quais encontra-se uma área de assentamento do INCRA com 1.100 ha. Serão desalojadas 72 famílias, das quais 10 estão vinculadas a área do referido assentamento. Dentre as infra-estruturas de uso público a serem afetadas figuram trechos de rede



elétrica de baixa tensão e de estradas vicinais, uma escola, uma igreja e dois cemitérios de pequeno porte. Os solos a serem submersos estão representados principalmente por Podzólicos Vermelho Amarelo rasos e com presença de cascalho na massa do solo e por Regossolos com fragipan, os quais apresentam bom potencial agrícola, tendo limitações à mecanização, no caso dos Podzólicos, e problemas de drenagem no caso dos Regossolos. Não foi constatada a presença de áreas de relevante interesse ecológico na área do empreendimento. Os riscos de salinização das águas represadas, bem como de poluição destas por efluentes sanitários e agrotóxicos são semelhantes aos constatados no Eixo II.

Na análise das diferentes alternativas de eixo barráveis foram levados em conta os seguintes fatores:

- Hídricos: relativos aos recursos hídricos utilizáveis e às demandas inerentes (volume do reservatório e vazão regularizada);
- Técnicos: relacionados à morfologia dos boqueirões, as condições geotécnicas de fundação da obra e a existência de jazidas de empréstimo nas imediações;
- Econômico-financeiros: relativos à ordem de grandeza dos custos estimados de implantação da barragem, do m<sup>3</sup> regularizado e de implantação e operação da adutora;
- Socioeconômicos: inerentes à necessidade de reassentamento de grandes contingentes populacionais, à problemática relativa a submersão de solos agricultáveis e de infra-estruturas de uso público;
- Ambientais: associados à submersão de áreas de relevante interesse ecológico (áreas indígenas, unidades de conservação e patrimônios histórico, arqueológico e paleontológico), bem como os riscos de salinização das águas a serem represadas ou de sua poluição por efluentes sanitários dos núcleos urbanos situados a montante dos eixos



estudados ou por agrotóxicos provenientes de áreas com irrigação intensa posicionadas na retaguarda dos reservatórios.

A matriz de decisão adotada para seleção da alternativa mais viável sob os pontos de vista técnico, econômico e ambiental adota um fator de ponderação para cada fator analisado, bem como uma classificação geral a qual encontra-se associado um sistema de pontuação, conforme pode ser visualizado no Quadro 3.3.

**Quadro 3.3 - Classificação Geral**

Item	Aspectos	Fator de Ponderação	Classificação Geral	Pontos associados à classificação
<b>1</b>	<b>Barragem</b>			
1.1	Custo de Implantação	3	Baixo	3
			Médio	2
			Alto	0
1.2	Vazão regularizada	1	Grande	2
			Média	1
			Pequena	0
1.3	Custo do m <sup>3</sup> regularizado	3	Baixo	3
			Médio	2
			Alto	0
1.4	Volume do reservatório	1	Grande	3
			Médio	2
			Pequeno	1
1.5	Área inundada	1	Pequena	3
			Média	2
			Grande	1
1.6	Impacto Ambiental (bio-físico)	2	Pequeno	3
			Médio	2
			Grande	0
1.7	Impacto Ambiental (sócio-econ.)	2	Pequeno	3
			Médio	2
			Grande	0
1.8	Reassentamento populacional	3	Pequeno	3
			Médio	2
			Grande	0
1.9	Remanejamento de infraestrutura	2	Pequeno	3
			Médio	2
			Grande	1
<b>2</b>	<b>Adutora</b>			



Item	Aspectos	Fator de Ponderação	Classificação Geral	Pontos associados à classificação
2.1	Custo de implantação e operação	3	Baixo	3
			Médio	2
			Alto	0

O somatório de pontos ponderados obtidos por cada alternativa permite a sua hierarquização, sendo selecionada a alternativa que obtiver maior escore.

Com base nos critérios preconizados pela matriz de decisão anteriormente apresentada foi efetuada a classificação e pontuação, para cada alternativa de eixo barrável, dos aspectos selecionados para avaliação, cujos resultados podem ser visualizados no Quadro 3.4. Da análise dos diversos aspectos selecionados para avaliação chega-se a conclusão que a melhor alternativa para a localização do barramento encontra-se representada pelo Eixo II (Fazenda Conceição).



Quadro 3.4  
Matriz de Decisão para Localização do Eixo Barrável  
Abastecimento da Cidade de Amontada  
Projeto da Barragem Missi

Opção de eixo	Custo de implant.	Vazão regularizada	Custo m <sup>3</sup> regulariz.	Volume do reservatório	Área inundada	Impac. amb. (biofísico)	Impac.amb. (socio econ)	Reassent. populacio nal	Remanej. Infraestru tura	Total pontos associados	Total pontos pondera dos	Classi- ficação
	Fator de Ponderação											
	3	1	3	2	1	2	2	3	2			
Eixo I	baixo	pequena	alto	pequeno	pequena	médio	pequeno	pequeno	pequeno	16	38	2º
Eixo II	médio	grande	médio	pequeno	pequena	médio	pequeno	pequeno	pequeno	19	40	1º
Eixo III	alto	grande	médio	pequeno	pequena	médio	pequeno	pequeno	pequeno	17	34	3º



### 3.5. ESTUDOS BÁSICOS

#### 3.5.1. Estudos Topográficos

Os estudos topográficos foram realizados na área de implantação das obras e na bacia hidráulica do reservatório, constando de levantamentos topográficos, planialtimétricos e aerofotogramétricos, visando à obtenção de plantas em escala compatível com o grau de detalhamento desejado.

Os levantamentos topográficos do eixo barrável e do sangradouro foram executados através de topografia clássica, constando dos seguintes serviços:

- Locação dos eixos com estaqueamento a cada 20 m e implantação de marcos de concretos nas deflexões topográficos, os quais servirão de base para amarração das obras;
- Nivelamento de todas as estacas do eixo barrável e sangradouro e geração do perfil longitudinal do terreno natural no eixo;
- Levantamento de seções transversais ao eixo barrável e sangradouro a cada 20 m, abrangendo uma faixa de domínio com largura de 150 m à montante e à jusante, e geração de planta baixa do eixo barrável e sangradouro, com curvas de nível eqüidistantes a cada metro;
- Locação do canal de restituição com estaqueamento a cada 50 m, tendo sua poligonal locada a partir da estaca 85 do eixo da barragem/sangradouro, acompanhando o talvegue à jusante, apresentando 1.071 m de extensão;
- Levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, com seccionamento a cada 50 m, com 100 m de largura para cada lado e pontos cotados a cada 20 m, e elaboração da planta baixa com curvas de nível eqüidistantes a cada metro.



Na área da bacia hidráulica, o levantamento foi realizado com o objetivo de se obter uma cobertura aerofotogramétrica colorida na escala 1:15.000, totalizando 70 km<sup>2</sup> e mapas digitais na escala 1:5.000 da bacia hidráulica que totalizaram 28,97 km<sup>2</sup>. Os produtos gerados pelo levantamento aerofotogramétrico constam de uma coleção de aerofotos na escala do vôo (34 fotos); um foto índice na escala de 1:60.000; monografias dos vértices implantados, uma coleção de CD-ROM, contendo 39 fotos aéreas em formato digital e uma coleção de arquivos digitais, em formato DWG-3D na escala 1:5.000 com hidrografia e altimetria. O Desenho 02/04 no encarte, mostra o mapa planialtimétrico da bacia hidráulica do reservatório. A bacia hidrográfica teve como base cartográfica às cartas da SUDENE digitalizadas na escala 1:100.000, com curvas de nível a cada 40 m, sobre as quais foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica.

As áreas das ocorrências de materiais construtivos a serem exploradas para execução da barragem tiveram suas poligonais amarradas em relação ao eixo barrável e todos os poços escavados para investigação geotécnica das jazidas locados, numerados e amarrados. Foram locadas três jazidas de material terroso (J-1 a J-3), um areal no leito do rio Missi e duas pedreiras (P-1 e P-2), tendo esta última sido descartada devido a grande cobertura de solo detectada pelos estudos geotécnicos.

### 3.5.2. Estudos Hidrológicos

Os estudos hidrológicos realizados objetivaram fornecer informações e elementos relativos ao clima e aos recursos hídricos de superfície, necessários ao desenvolvimento do projeto de construção da Barragem Missi, com vistas ao dimensionamento do reservatório a ser implantado.

Desta forma foi efetuada uma caracterização do regime pluviométrico a nível mensal e anual, tendo como base às informações da estação meteorológica de Sobral e do posto pluviométrico de Miraíma, as quais se constituem nas estações situadas mais próximo do local da barragem. No estudo de chuvas intensas na



região do projeto com vistas ao fornecimento de elementos indispensáveis para o dimensionamento do sangradouro e para determinar a disponibilidade hídrica do reservatório, foi adotado o Método das Isozonas (Taborga Torrico, 1975), devido a área em estudo não dispor de registros de pluviógrafos.

No estudo dos deflúvios, devido a bacia hidrográfica da Barragem Missi não dispor de estação fluviométrica em seu território, utilizou-se a série estudada para este reservatório no Plano Estadual de Recursos Hídricos. O referido plano estudou as séries de vazões no rio Aracatiaçu e em todas as suas sub-bacias, inclusive a bacia do Missi. Seguindo o procedimento adotado no PERH, foram obtidas informações de deflúvio correspondentes ao período 1932/1988. O resultado da série de observações produziu um volume médio afluente anual de 1,36 m<sup>3</sup>/s, com desvio padrão de 1,98 e coeficiente de variação de 1,45.

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

Em barragens pequenas e médias, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso, podendo o período de retorno de 1.000 anos ser suficiente, fazendo-se posteriormente uma verificação para 10.000 anos.

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que utilizam séries 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 a serem estudados indicaram a escolha do método de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada.

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses do cálculo da cheia de projeto: a escolha da chuva de projeto, o hidrograma utilizado, a definição da



precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1.

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável não se justifica para o reservatório em estudo, por sua localização, capacidade e finalidade. Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar as cheias associadas aos hietogramas de 1.000 e 10.000 anos.

Apesar do tempo de concentração ser de 10,6 horas, foi verificado que existia ainda uma forte influência da duração da chuva sobre o hidrograma efluente, sendo adotado portando uma chuva de duração igual a 24 horas. Os hidrogramas afluentes para os tempos de retorno 1.000 e 10.000 anos foram obtidos pelo modelo do SCS – Soil Conservation Service e a laminação das enchentes de projeto foi efetuada pelo método de Puls. O CN para a Bacia do Missi foi estimado em 80, de acordo com a avaliação do tipo de solo e do uso da bacia realizada visualmente. A largura do sangradouro da barragem foi definida em função de limitações físicas das ombreiras em 150 m, tendo sido simuladas condições de operação para as cotas de sangria de 52 m, 53 m e 54 m, sendo esta última a cota máxima permitida pelas ombreiras. Os picos de vazões efluentes e lâminas de sangria associados aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos para as diversas cotas de sangria são apresentados no Quadro 3.5.

**Quadro 3.5 – Vazões e Lâminas de Sangria**

Cota de Sangria (m)	TR = 1.000	Anos	TR = 10.000	Anos
	Q(m <sup>3</sup> /s)	h (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	h (m)
52	706,2	1,71	1.033,3	2,21
53	657,8	1,63	969,2	2,12
54	608,7	1,55	904,0	2,02
54,7	583,8	1,51	857,5	1,95

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I – Estudos Básicos). 82p.



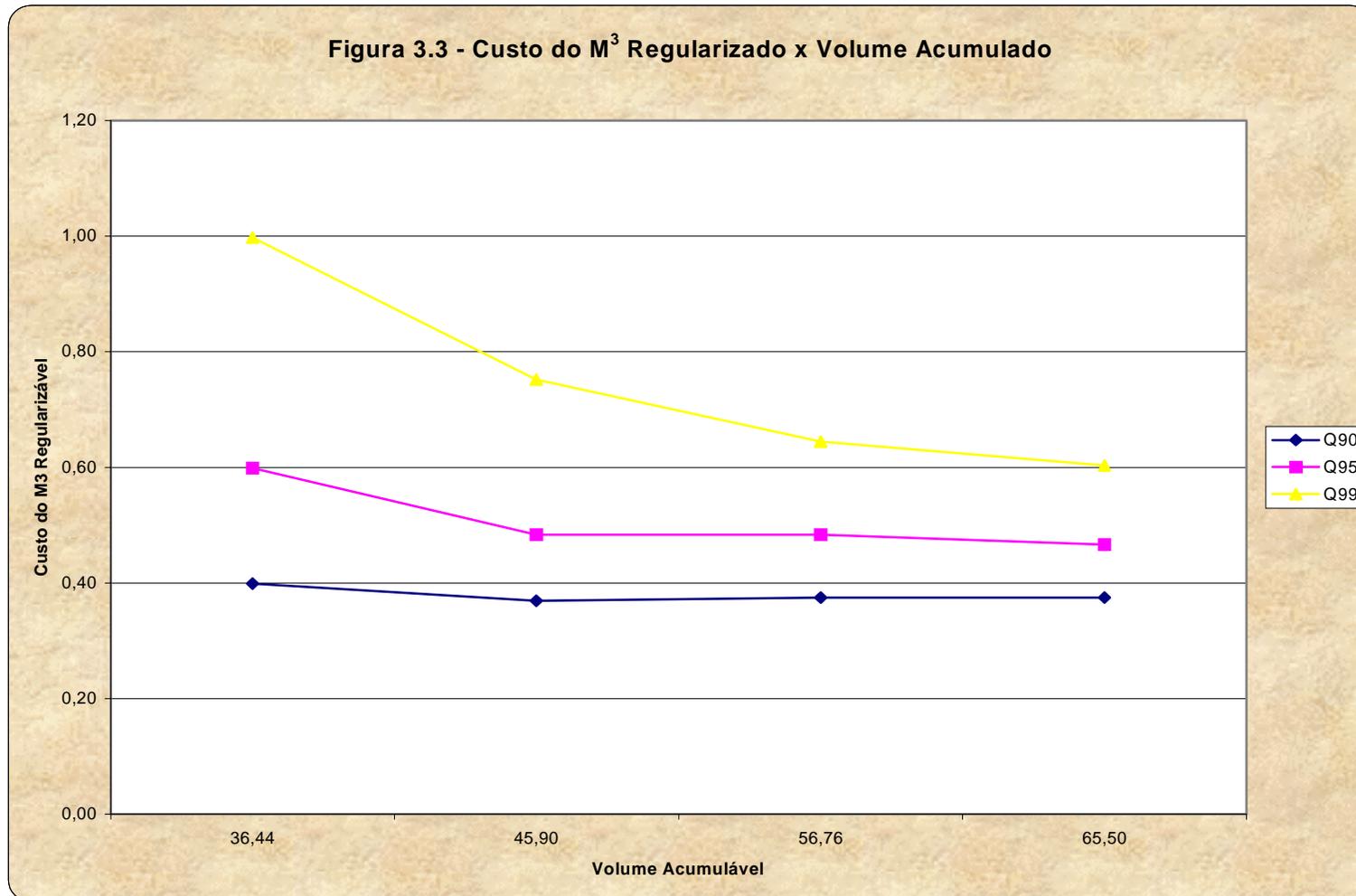
Para o dimensionamento do reservatório foi utilizada a série de vazões obtidas do Plano Estadual de Recursos Hídricos para obtenção das vazões regularizadas com 90%, 95% e 99% de garantia através do uso do programa HEC-3. Os resultados das simulações efetuadas para diversas dimensões possíveis do reservatório são apresentados no Quadro 3.6.

**Quadro 3.6** – Estudo Incremental de Capacidade do Açude (HEC-3)

V = 36,44 hm <sup>3</sup>		V = 45,90 hm <sup>3</sup>		V = 56,76 hm <sup>3</sup>		V = 65,50 hm <sup>3</sup>	
Q (l/s)	GAR (%)						
225	90%	275	90%	310	90%	330	90%
150	95%	210	95%	240	95%	265	95%
90	99%	135	99%	180	99%	205	99%

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I – Estudos Básicos). 82p.

A determinação do tamanho do reservatório teve como base o custo mínimo do volume regularizado. Foram estimados os custos da barragem para cada cota de sangria, sendo elaborada a curva de custo do m<sup>3</sup> regularizado anual associado ao volume armazenado (Figura 3.3). Com base nos estudos efetuados chega-se a conclusão que o volume máximo de 65,5 hm<sup>3</sup> (cota 54,7) é o mais adequado. O pico de vazão efluente e lâminas de sangria para os períodos de retorno de 1.000 anos para este volume são de 583,8 m<sup>3</sup>/s e 1,51 m, enquanto que para o período de 10.000 anos esses valores são de 857,5 m<sup>3</sup>/s e 1,95 m. As vazões regularizadas para o volume de 65,5 hm<sup>3</sup> são de 330 l/s para garantia de 90%, 265 l/s para garantia de 95% e de 205 l/s para garantia de 99%.





### 3.5.3. Estudos Geológicos/Geotécnicos

#### 3.5.3.1. Geologia

A geologia da região onde está inserido o projeto apresenta um predomínio de rochas cristalinas, de idade pré-cambriana, tendo como unidade dominante o Complexo Caicó, cujos litotipos petrográficos são constituídos por gnaisses e migmatitos com lentes de anfibolito, quartzito e calcário cristalino, apresentando “trend” estrutural orientado segundo NE-SW. Com menor representatividade aparecem no domínio do embasamento cristalino, rochas plutônicas granulares (granitóides, gabróides e sienitos), Complexo Tamboril-Santa Quitéria (corpos graníticos) e diques ácidos (rochas filoneanas ácidas), estes últimos preenchendo fraturas e recortando as rochas das unidades supra citadas. No domínio do embasamento sedimentar aparecem os conglomerados, arenitos e siltitos do Grupo Barreiras, as Dunas e os Aluviões, estes últimos apresentando maior expressão geográfica apenas ao longo da região de baixo curso dos rios Aracatiaçu e Missi.

Em escala local, a litologia predominante é formada por rochas cristalinas, onde ocorrem gnaisses migmatíticos, quartzitos, xistos, anfibolitos, granitos e calcários cristalinos. Os depósitos aluvionares constatados ao longo do rio Missi, formam extensos terraços de topografia plana, constituídos de solo com granulometria fina, de composição silto-areno-argilosa. Na calha do rio ocorrem areias de granulometria fina a média, com pedregulhos e cascalhos, além de vários afloramentos de rochas xistosas e gnáissicas.

As variações litoestratigráficas observadas na área são reflexo de uma série de eventos de movimentações e reativações tectônicas, comandadas pelo sistema de falhamentos presentes na região, associados à Falha de Forquilha.

O alinhamento do eixo da barragem se dá mais ou menos segundo E-W. A foliação dominante das rochas que ocorrem na área é orientada segundo NE-SW, com mergulhos para SE com variações entre 40° e 60°. Com base no Diagrama de Roseta, elaborado a partir da medição de 500 direções de fraturas, constata-se



que a direção preferencial média se dá segundo NW-SE, concentrando-se principalmente entre N110°Az a N120°Az, representando um percentual de 32% do total medido e entre N170°Az a N180°Az, representando 24,6%. O mergulho se dá preferencialmente na vertical, variando ainda entre 40° a 80° para NE.

A área estudada está inserida na unidade geomorfológica denominada Depressão Sertaneja, a qual subdivide-se em duas partes distintas: área conservada e área dissecada. A área dissecada, na qual está localizada a futura Barragem Missi, apresenta características diferenciadas na capacidade de sulcamento da drenagem e no comportamento geomorfológico das rochas. O padrão de drenagem é dendrítico e os cursos d'água não têm competência para promover um entalhe de maior significado, em face da intermitência dos regimes fluviais condicionados a semi-aridez.

#### *3.5.3.2. Geotecnia*

Visando completar a caracterização geotécnica da área de implantação do barramento e do vertedouro foi realizada uma campanha de sondagens. Foram efetuadas 12 sondagens à percussão (SP-1 a SP-12) e 9 sondagens mistas (SM-1 a SM-9) distribuídas ao longo do eixo do barramento, perfazendo um total de 61,3 m perfurados nas sondagens percussivas e 154,45 m nas mistas, sendo 43,55 m através de processo percussivo e 110,9 m por processo rotativo. O Quadro 3.7 mostra os dados técnicos das sondagens, enquanto que o Desenho 03/04 no encarte apresenta o perfil geológico/geotécnico do eixo.

Foram efetuados, também, sete ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para determinação do coeficiente de permeabilidade "in situ" do substrato terroso nos trechos em solo das sondagens mistas SM-3 a SM-9. Foram executados, ainda, nos trechos em rocha de todas as sondagens mistas ensaios de perda d'água ou Lugeon, de modo a se obter informações quantitativas sobre a circulação da água nas rochas fissuradas, com o objetivo de julgar as possibilidades de consolidação por injeções. Os resultados obtidos nos ensaios efetuados são apresentados no Quadro 3.8.

**Quadro 3.7 - Dados Gerais das Sondagens Realizadas no Eixo do Barramento**

Sondagem	Estaca	Cota (m)	Extensão Sondada (1)	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima (1)
SP-1	36	42,646	4,06	2	Fofa
SP-2	36 + 30 m M	41,298	4,23	3	Fofa
SP-3	36 + 30 m J	42,900	4,00	3	Fofa
SP-4	41	43,291	6,03	3	Fofa
SP-5	41 + 30 m M	43,145	4,70	3	Fofa
SP-6	41 + 30 m J	41,047	4,03	3	Fofa
SP-7	45	42,981	5,83	7	Pouco Compacta
SP-8	45 + 30 m M	42,990	6,45	7	Pouco Compacta
SP-9	45 + 30 m J	42,626	4,34	3	Fofa
SP-10	49	42,392	5,96	7	Pouco Compacta
SP-11	49 + 30m M	42,270	5,60	5	Pouco Compacta
SP-12	49 + 30m J	42,728	6,07	7	Pouco Compacta
SM-1	11	51,360	3,65 / 9,85	5	Biotita Sericita Xisto, fort. xistosa e Biotita Gnaisse, dura
SM-2	25	59,279	3,00 / 9,50	7	Biotita Sericita Xisto, macia a mod. dura, gran fina, fort. Xistosa
SM-3	30 + 10	49,150	6,00 / 9,00	21 / 15	Biotita Sericita Xisto, muito macia, gran fina, fort. Xistosa
SM-4	33	40,571	3,06 / 14,94	3	Biotita Sericita Xisto, macia a dura, gran fina, xistosa
SM-5	38 + 10	41,200	4,76 / 14,19	2	Biotita Sericita Xisto, macia a muito dura, gran fina, xistosa
SM-6	43	42,659	4,95 / 16,05	8	Biotita Sericita Xisto, mod. a muito dura, gran fina, xistosa
SM-7	47	42,889	6,08 / 8,92	10	Biotita Sericita Xisto, dura a muito dura, gran fina xistosa
SM-8	51 + 10	41,605	7,00 / 13,50	7	Biotita Sericita Xisto, macia a mod. a dura, gran fina, xistosa
SM-9	55	48,570	5,05 / 14,95	8	Biotita Sericita Xisto, macia a mod. a dura, gran fina, xistosa

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I - Estudos Básicos). 82p.

(1) Para as sondagens mistas é especificado a extensão sondada por percussão/rotativo e as características da rocha predominante no que se refere a consistência do material analisado.

**Quadro 3.8** - Ensaios de Campo nas Sondagens Realizadas no Barramento

Nº	Estaca	Extensão Sondada	Nº de Ensaios Lefranc	Nº de Ensaios Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d'Água Específica Registrada (1)	Profundidade de Máxima Permeab. / Perda d'Água
SM-1	11	13,50	-	1	-	1,30	/ 7,5 a 10,5
SM-2	25	12,50	-	3	-	0,39	/ 9,5 a 12,5
SM-3	30 + 10	15,00	5	3	1,5x10E-5	15,12	1,5 a 2,0 / 7,0 a 10,0
SM-4	33	18,00	2	5	1,1x10E-3	2,08	2,5 a 3,0 / 4,0 a 7,0
SM-5	38 + 10	18,95	2	5	10E-3	1,97	3,0 a 4,0 / 4,5 a 7,5
SM-6	43	21,00	5	5	1,3x10E-2	0,38	4,5 a 4,92 / 6,5 a 9,5
SM-7	47	15,00	5	3	1,5x10E-4	0,32	5,5 a 6,0 / 6,55 a 9,55
SM-8	51 + 10	20,50	6	4	2,4x10E-4	0,20	3,5 a 4,5 / 10,5 a 13,5
SM-9	55	20,00	4	3	1,4x10E-4	0,12	2,5 a 3,0 / 11,0 a 14,0

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I – Estudos Básicos). 82p.

Perda d'Água em l/min/m/atm.

As investigações geotécnicas no local do sangradouro tiveram como objetivo identificar e caracterizar o subsolo, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas. Foram executadas inicialmente quatro sondagens mistas (SM-10 a SM-13) na ombreira direita, entre as estacas 82 e 88, tendo-se verificado que a rocha sã, com competência para receber a ação abrasiva das águas, encontra-se posicionada a grande profundidade, requerendo a execução de um muro para ser atingida a soleira. Na tentativa de obter-se um posicionamento da rocha mais elevado foi executada uma sondagem mista (SM-14), 100 m a jusante do local investigado, cujo resultado não atendeu as expectativas.

Foi investigada então as condições geotécnicas da ombreira esquerda, onde as condições topográficas favorecem a implantação do sangradouro, sendo no



entanto necessário a adoção de medidas para que a restituição do caudal de sangria não atinja o maciço do barramento. Para tanto foram executadas duas sondagens mistas (SM-15 e SM-16), cujos resultados não indicaram condições geotécnicas mais favoráveis que a da investigação inicial. Na sondagem SM-15 a rocha sã, muito dura porém foliada só foi encontrada com 6,24 m de profundidade e na SM-16 a rocha apresenta-se altamente intemperizada a decomposta até o limite da sondagem (9,50 m).

Por fim, foi tentada uma otimização do local inicialmente investigado na ombreira direita, sendo feito o deslocamento deste mais para esquerda. Os resultados obtidos na sondagem mista efetuada (SM-12) demonstra que neste local a rocha a 12 m de profundidade apresenta-se moderadamente dura, com RQD zero, altamente intemperizada e foliada, o que torna este local impróprio para implantação do sangradouro. A análise comparativa das alternativas estudadas para locação do sangradouro, revela que a melhor opção será implantar o sangradouro na ombreira direita no local inicialmente selecionado. O Quadro 3.9 apresenta os resultados das investigações geotécnicas efetuadas nas alternativas de sangradouro.

**Quadro 3.9** - Investigações Geotécnicas Realizadas nas Alternativas de Sangradouro

Nº	Estaca	Cota (m)	Extensão (m) Percus/Rotat.	Rocha Predominante	Grau de Intemperismo
SM-10	82	53,632	5,00 / 6,00	Biotita Sericita Xisto, moder, dura a dura, gran fina, xistosa	Moderad. Intemperizada
SM-11	85	52,581	5,10 / 6,40	Biotita Sericita Xisto, macia a moder. dura, gran fina, xistosa	Moderad. Intemperizada
SM-12	85 + 50 m J	53,950	2,20 / 5,94	Biotita Sericita Xisto, dura a muito dura, gran fina, xistosa	Levemente Intemperizada
SM-13	88	52,970	2,11 / 6,91	Biotita Sericita Xisto, moder, dura a dura, gran fina, xistosa	Moderad. Intemperizada
SM-14	85 + 100 m J	54,601	1,82 / 8,58	Gnaiss macio a	Moderada a



Nº	Estaca	Cota (m)	Extensão (m) Percus/Rotat.	Rocha Predominante	Grau de Intemperismo
				duro, gran fina, foliado	Altamente Intemperizado
SM-15	0	54,962	2,20 / 6,04	Gnaiss moder. duro a muito duro, gran fina, foliado	Moderada a Altamente Intemperizado
SM-16	19	61,969	2,00 / 7,50	Quartzito macio a moder. duro, foliado e Gnaiss decomposto macio	Altamente Intemperizado a Decomposto
SM-17	75	62,814	1,58 / 10,42	Quartzito muito macio a moder. duro, foliado	Decomposto

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I – Estudos Básicos). 82p.

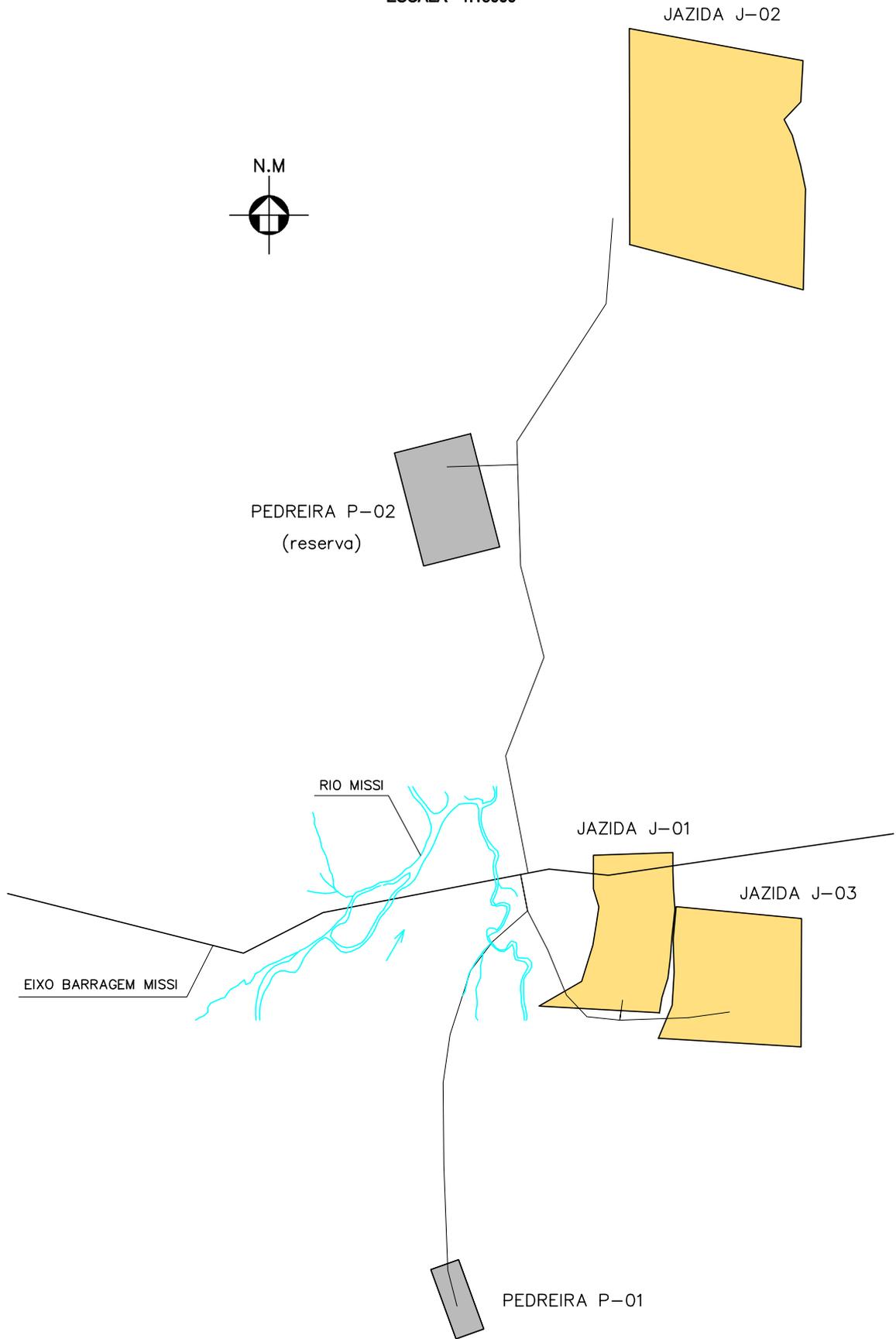
### 3.5.3.3. Materiais de Empréstimos

Foram realizados estudos dos materiais de empréstimos terrosos, granulares e rochosos, os quais constaram inicialmente do reconhecimento quantitativo e qualitativo dos materiais existentes nas proximidades do eixo do barramento.

Dentro de um afastamento econômico da obra foram locados três jazidas de material terroso (J-1 a J-3), um areal e duas pedreiras (P-1 e P-2). Após a locação das áreas foram feitas cubagens dos materiais e estabelecidas distâncias médias de transporte. A Figura 3.4 apresenta o croqui da localização das áreas de empréstimos estudadas, observa-se 50% da área da jazida J-1 e 70% da jazida J-3, bem como a Pedreira P-1 estão posicionadas dentro da área da bacia hidráulica do futuro reservatório, enquanto que a Jazida J-2, o areal de rio e a Pedreira P-2 estão situadas a jusante do barramento.

As jazidas de material terroso apresentam as características discriminadas no Quadro 3.10, tendo sido estudadas através de malhas quadráticas de sondagens a pá e picareta.

**FIGURA 3.4**  
**CROQUI DE LOCALIZAÇÃO**  
**DAS ÁREAS DE EMPRÉSTIMO**  
ESCALA - 1:15000



**Quadro 3.10** - Características das Jazidas de Empréstimos

<b>Discriminação</b>	<b>J-1</b>	<b>J-2</b>	<b>J-3</b>
Área Utilizável (m <sup>2</sup> )	85.548	249.122	110.679
Nº de Furos	46	120	25
Prof. Média dos Furos (m)	0,70	0,71	0,90
Vol Total Material (m <sup>3</sup> )	59.884	176.876	99.611
Camada Média Expurgo (m)	0,10	0,10	0,10
Espessura Média Útil (m)	0,60	0,61	0,80
Vol. Material Utilizável (m <sup>3</sup> )	51.328	151.964	88.543
Classificação do Material (USC)	CL	CL	CL
Distância ao eixo (km)	1,12	2,49	1,24

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I - Estudos Básicos). 82p.

As amostras coletadas em furos representativos das jazidas de material terroso, foram submetidas a ensaios de caracterização, constando de granulometria por peneiramento, granulometria por sedimentação, determinação dos limites de consistência (LL e LP), peso específico dos grãos e compactação-proctor normal. Os solos das jazidas J-1 e J-3 por apresentarem um percentual significativo de fragmentos de rocha quartzítica, em diversas dimensões, são indicados para uso nas zonas mais permeáveis do maciço. Os fragmentos com dimensões maiores que a espessura da camada indicada para a confecção do aterro devem ser removidos. Os solos da Jazida J-2, por sua vez, apresentam características geotécnicas que favorecem o seu uso em qualquer zona do maciço da barragem. Entretanto, devido esta jazida apresentar uma maior distância de transporte deverá ser utilizada apenas em zonas mais impermeáveis do maciço.

O areal, localizado no leito do rio Missi, apresenta características apropriadas para o uso como agregado miúdo para concretos e para elemento drenante/filtrante do sistema de drenagem interna do maciço. As amostras coletadas foram submetidas a ensaios de granulometria por peneiramento e de



permeabilidade com carga constante. O material classificado como SP, apresenta valor médio para o coeficiente de permeabilidade de  $6,9 \times 10^{-3}$  cm/s.

As pedreiras estudadas são do tipo rocha gnaisse migmatítico, tendo as campanhas de sondagens rotativas efetuadas em ambas revelado boas qualidades mecânicas da rocha, com índices elevados de RQD. Apresentam como diferencial a espessura da camada de solo de recobrimento superficial, tendo sido detectada uma espessura média inferior a 2,00 m na Pedreira P-1, elevando-se para 3,00 m na Pedreira P-2, razão pela qual esta última foi descartada. Assim sendo, o material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento serão oriundos prioritariamente da escavação do substrato rochoso do sangradouro, sendo complementados com o material explorado na Pedreira P-1.

### **3.6. CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DO PROJETO**

#### **3.6.1. Arranjo Geral das Obras**

Na definição do arranjo geral das obras efetuado pela Projetista, foi levado em consideração principalmente os condicionamentos topográficos, geológicos e geotécnicos do local de implantação. O maciço da barragem ficou posicionado no local que apresenta melhores condições topográficas, sendo prevista a construção de duas barragens auxiliares. Na definição do posicionamento do sangradouro e da tomada d'água, foi levado em conta, principalmente, as características geotécnicas do terreno, tendo o vertedouro sido locado na ombreira direita do maciço principal. Desta forma, o conjunto das obras, cuja configuração pode ser visualizada no Desenho 04/04 do encarte, consta basicamente de:

- Barragem principal, de terra zoneada, com altura máxima de 17,3 m acima das fundações, com extensão pelo coroamento de 705,0 m, na cota 57,8;



- Barragem auxiliar 01, de terra zoneada, com altura máxima de 6,45 m acima das fundações, com extensão pelo coroamento de 552,0 m;
- Barragem auxiliar 02, de terra zoneada, com altura máxima de 3,17 m acima das fundações, com extensão pelo coroamento de 217,7 m;
- Barragem auxiliar 03 A, de terra zoneada, com altura máxima de 3,56 m acima das fundações, com extensão pelo coroamento de 37,0 m;
- Sangradouro com soleira livre, largura de 150,0 m, situado na ombreira direita do maciço principal;
- Tomada d'água composta de um tubo de ferro fundido com 500 mm de diâmetro, envolvida por uma estrutura de concreto armado. A regulagem do fluxo será com registro de gaveta e válvula borboleta.

### 3.6.2. Barragem Principal

A barragem principal projetada consta de um maciço de terra zoneada, a ser constituída de material argiloso de baixa plasticidade do tipo CL (USC), assentado diretamente sobre a base do pacote aluvionar, com uma trincheira tipo “cut-off” até o substrato rochoso.

A seção-tipo do maciço apresenta uma geometria trapezoidal com largura de crista de 6,0 m e altura máxima de 17,3 m acima das fundações. O comprimento do maciço é de 705,0 m. As inclinações dos taludes de montante e de jusante são de 1:2,5 e 1:2, respectivamente.

A drenagem interna do maciço será efetuada por um filtro vertical com 1,0 m de espessura, executado com areia grossa, que ficará na cota 56,2 m, cota da cheia decamilenar, entre as estacas 28 e 57. Para receber as águas do filtro vertical e do maciço rochoso da fundação foi previsto um tapete drenante do tipo sanduíche com 0,90 m de espessura, com duas camadas de areia grossa externa e uma camada central de brita. Integra ainda o sistema de drenagem interna um dreno



de pé (Rock-fill) no talude de jusante, com seção trapezoidal tendo talude de montante de 1:1 (V:H) e jusante 1:1,5 (V:H), cota de coroamento na 44,00m e largura do coroamento de 2,0m. Entre as interfaces da base do terreno natural e do enrocamento com o maciço da barragem serão colocadas camadas de transição com 0,30 m de espessura, sendo metade de brita e a outra metade de areia grossa.

Para proteção do talude de montante contra os efeitos erosivos das chuvas e das ondas provocadas pelos ventos foi adotado um “rip-rap” de blocos de rocha sã com espessura total de 0,70 m e diâmetro médio de 0,62 m, assente sobre uma camada de transição com 0,20 m de espessura formada por brita. No talude de jusante foi prevista uma proteção superficial com camada de 0,30 m de brita de granulometria variada.

### 3.6.3. Barragens Auxiliares

A fim de ser evitada fuga d'água, foram projetadas três barragens auxiliares de terra zoneada, utilizando-se o mesmo material do tipo CL da barragem principal.

A barragem auxiliar 01, está compreendida entre as estacas (-11) e 16+12,00, terá uma extensão de 552 m e altura máxima de 6,45 m. A barragem auxiliar 02, situada entre as estacas 89 e 99+17,70, terá uma extensão de 217,7 m e altura máxima acima das fundações de 3,17 m. No local da estrutura de sangria foi necessária a introdução de uma pequena barragem a esquerda do muro lateral do vertedouro, denominada de barragem auxiliar 03, a qual encontra-se posicionada entre as estacas 79+13,00 e 81+10, perfazendo uma extensão de 37,0 m com altura máxima de 3,56 m.

As inclinações e proteções dos taludes de montante e jusante são os mesmos adotados para a barragem principal. Os taludes das barragens auxiliares não serão providos de calha de drenagem e não foi previsto sistema de drenagem internas auxiliares 02 e 03. Na barragem auxiliar 01 foi previsto entre estacas -4 e 16 a execução de um tapete drenante com 0,50m de espessura, que se estende até jusante



#### 3.6.4. Sangradouro

Com base nos estudos hidrológicos, geotécnicos e topográficos, ficou definida a localização do sangradouro na ombreira direita do maciço principal. A soleira do vertedouro encontra-se posicionada na cota 54,7 m, a qual corresponde a um armazenamento d'água de 65,50 hm<sup>3</sup>.

O sangradouro será constituído por um muro de gravidade com soleira em perfil *Creager*, com crista na cota 54,7 m e largura de 150,0 m, projetado para evacuar uma cheia milenar, com lâmina máxima de 1,51 m. O muro vertedouro será fundado na cota 46,0 m, tendo sido projetado dois muros laterais com extensão de 20,0 m para montante formando o canal de aproximação e mais 20,0 m para jusante formando os muros laterais da bacia de dissipação, que terá ainda um muro de fechamento. A cota do fundo da bacia de dissipação é de 46,7 m. Todos os muros serão construídos em concreto ciclópico. O canal de saída, com 150,0 m de largura, tem início na cota 46,7 m, se desenvolvendo por uma extensão de 680m, com declividade de 0,1%.

Apesar do vertedouro estar assente em rocha, devido na incerteza sobre a sua qualidade, foi previsto que o fundo da bacia de dissipação deverá ser revestido em laje de concreto armado com chumbadores. Caso durante a execução das obras se comprove a boa qualidade da rocha, a laje de concreto e os chumbadores serão eliminados.

#### 3.6.5. Tomada D'água

A tomada d'água será formada por uma tubulação de ferro fundido, envolvida em concreto armado, com diâmetro de 500 mm e comprimento de 79,0 m, e cujo eixo ficará situado na cota 44,0 m, cruzando o eixo da barragem na altura da estaca 54+10. A galeria foi dimensionada para uma vazão de 0,33 m<sup>3</sup>/s no nível mínimo de operação do reservatório. A montante da tubulação haverá uma caixa com grade de ferro e a jusante uma caixa com três células. A primeira abrigará a válvula borboleta e o registro de gaveta, a segunda terá um anteparo para



dissipar o excesso de energia cinética e a terceira servirá de tanque tranquilizador, tendo na saída um vertedouro triangular para medição de vazão.

### 3.6.6. Tratamento da Fundação

Visando reduzir a percolação d'água pela fundação da barragem principal, a Projetista optou pela construção de uma trincheira de vedação (Cut-off) preenchida com material impermeável entre as estacas 26+10 e 58, a qual deve atravessar toda a camada de solo residual em ambas as ombreiras. No trecho da calha do rio deverá ser retirada uma camada de solo aluvionar de 1,0 m de espessura, na largura compreendida entre os off-sets de jusante e montante, antes do início da escavação da trincheira de impermeabilização. Foi adotada uma trincheira de vedação atravessando todo o aluvião, inclusive uma camada de seixo rolado de quartzo.

Para a barragem auxiliar 01 foi prevista uma trincheira de estanqueidade entre as estacas 1 e 15, com largura da base de 6,0 m e profundidade máxima de 2,0 m, onde alcança um solo residual muito compacto. As barragens auxiliares 02 e 02 A não requerem a adoção de um elemento de controle de fluxo pela fundação, face a reduzida alturas de seus maciços.

A trincheira de vedação será escavada do eixo do coroamento para montante, tendo suas profundidades definidas de acordo com os perfis das sondagens executadas. As escavações serão em taludes 1:1 até 4m de profundidade e a partir daí em talude 1,0: 1,5 (H:V) e a largura do fundo variará entre 6,0 e 8,0 m.

Na execução da trincheira de vedação, no trecho compreendido entre as estacas 33 e 43, dada a elevada permeabilidade dos solos aluvionares, faz-se necessário o rebaixamento do lençol freático com ponteiros em um único nível. Há necessidade de execução de berma na escavação da trincheira na profundidade de 4,0m abaixo do nível do terreno. Nos trechos onde o solo aluvionar é menos permeável, pode ser feito o bombeamento através da execução de calhas que conduzam a água para pontos mais baixo e facilitem o bombeamento.



Tendo em vista o estado de alteração do substrato rochoso, será efetuado um tratamento das fundações através da execução de uma cortina de impermeabilização, no trecho entre as estacas 29 e 54, ou seja, num segmento de 500,0 m de extensão. Na ombreira esquerda entre as estacas 29 e 35 a cortina terá 12,0m de profundidade dentro do maciço rochoso e no trecho restante terá 6,0 de profundidade.

A cortina terá fisicamente uma única linha que será locada, em planta, no eixo da trincheira de fundação. Os furos deverão ser orientados com a finalidade de interceptar o número máximo de fraturas abertas. A inclinação deve ser de 20° para montante.

A cortina será formada de furos denominados primários, secundários e terciários e de confirmação.

No trecho entre as estacas 29 e 35, ou seja, com 120,00m a cortina terá todos os furos, sendo executada da seguinte forma: Inicialmente serão executados os furos primários que terão 12,00m de comprimento no maciço rochoso. Esses furos serão espaçados de 12,00 em 12,00 metros. Em seguida serão executados os secundários, também, espaçados de 12,00 em 12,00 metros e defasados de 6,0 metros dos furos primários. Concluído a execução dos furos secundários, serão executados os furos terciários que são espaçados de 6,0 em 6,0 metros e são defasados de 3,0m dos furos secundários. Os furos secundários e terciários terão também 12,0 metros de comprimento dentro do maciço rochoso. Concluída a execução desse trecho de cortina, que terá furos espaçados de 3,0 em 3,0 metros, serão executados os furos de confirmação que serão executados com a finalidade de verificar a qualidade da injeção. Eles serão executados de 12,0 em 12,0 metros defasados do primeiro furo de 1,50 metros. Eles terão 12,0m de profundidade dentro do maciço rochoso, serão executados com sonda rotativa diâmetro (|)NX (75,3mm) e em cada furo serão executados ensaios de perda d'água em segmentos de 3,0 em 3,0 metros.



No restante da cortina de injeção, ou seja, entre as estacas 35 e 54 a cortina terá a seguinte constituição:

Inicialmente serão executados os furos primários espaçados de 12,0 em 12,0 metros. Estes furos terão 6,0m de comprimento. Em cada furo primário que apresentar um consumo superior a 20 kg/m de cimento serão executados dois furos secundários espaçados entre si de 12,0m e defasados de 6,0m dos furos primários. Os furos secundários terão 6,0m de comprimento. Para cada furo primário que apresentar consumo de cimento superior a 20kg/m serão executados dois furos terciários um em cada lado do furo secundário. Os furos terciários terão 6,0m de comprimento, são espaçados entre si de 6,00m e defasados de 3,0m dos furos secundários.

Concluída a execução desse trecho da cortina será então executados os furos de confirmação. Nesse trecho eles serão espaçados de 48,0 em 48,0 metros e o primeiro furo de confirmação será defasado 1,50m do primeiro furo primário do segmento. Esses furos terão, também, 6,0m de comprimento, serão executados com sonda rotativa  $\phi$  NX (75,3mm) e serão executados ensaios de perda d'água em segmento de 3,0m.

### 3.6.7. Análise de Estabilidade

Os cálculos da estabilidade dos taludes do maciço foram efetuados utilizando-se tanto a análise estática, como a análise sísmica. A análise estática foi executada com base no método de equilíbrio limite, proposto por Bishop, implementado automaticamente através do programa de cálculos SLOPE/W.

A seção escolhida para os cálculos foi a seção máxima, que fica na estaca 33 e tem 17,3 m de altura, uma vez que esta detém as condições mais desfavoráveis. Os estudos se desenvolveram através da comparação entre os fatores de segurança (Fs) calculados, com os admissíveis para o projeto.



A análise sísmica foi efetuada através de um método pseudo-estático, recorrendo-se ao Método de Bishop Simplificado. Nos cálculos efetuados para simulação de um abalo sísmico foi considerado o corpo da barragem como rígido, sendo a caracterização obtida através do valor da aceleração máxima esperada na fundação, que foi considerada constante ao longo do perfil da barragem. Tal procedimento se justifica pelos baixos níveis de sismicidade vigentes na região.

Os casos de carregamento a que o maciço será submetido determinaram os parâmetros de resistência a serem utilizados e os tipos de análise a serem implementadas, quais sejam:

- FINAL DE CONSTRUÇÃO: os taludes de jusante e montante foram analisados para esta condição, sendo a análise feita em termos de pressões neutras, tendo sido adotado um coeficiente  $R_u$  igual a 0,10;
- REGIME PERMANENTE: regime considerado crítico para o talude de jusante, sendo a análise feita em termos de pressões neutras. Foi determinada a superfície freática associando esta a parábola de Koseny teórica, fazendo as correções de contorno. Na obtenção da anisotropia do solo foi considerada uma relação igual a 9 entre os coeficientes de permeabilidade horizontal/vertical;
- REBAIXAMENTO RÁPIDO: o talude de montante foi analisado para esta condição, sendo a análise feita em termos de pressões neutras, adotando-se os mesmos procedimentos para definição da linha piezométrica do regime permanente.

Na caracterização da ação sísmica foi adotado para a situação de regime permanente, um coeficiente sísmico de 0,1g. Para as situações de final de construção e rebaixamento rápido o valor do coeficiente sísmico foi reduzido para 0,05g, tendo em vista que estas fases apresentam menor duração ao longo da vida útil da obra, sendo portanto menor a probabilidade de ocorrerem eventos sísmicos com aceleração superior.



Os parâmetros de resistência considerados para os materiais das jazidas J-1, J-2 e J-3 foram obtidos com base nos resultados dos ensaios de compressão triaxial do tipo CD consolidado, nas características dos materiais de empréstimo e, em experiências com material similar em outras obras. Os demais materiais (areia, brita, enrocamento, camada de aluvião e maciço rochoso) tiveram seus parâmetros avaliados com base em recomendações da literatura e na experiência da Projetista. O Quadro 3.11 apresenta os valores dos parâmetros geotécnicos adotados para análise da estabilidade da barragem. Os coeficientes de segurança admitidos seguiram as recomendações da literatura, estando os valores obtidos pelas análises estática e sísmica acima dos valores mínimos recomendados, conforme pode ser visualizado nos Quadros 3.12 e 3.13.

**Quadro 3.11 - Parâmetros Geotécnicos Adotados**

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\phi$ (graus)	Ru
Rip-rap	18,0	0,00	45°	0,00
Espaldar	20,2	8,00	27°	0,10
Filtro	18,0	0,00	35°	0,10
Rock-fill	20,0	0,00	38°	0,00
Núcleo	20,2	10,00	27°	0,10
Cut-off	20,2	10,00	27°	0,10
Aluvião	17,0	0,00	28°	0,10
Solo Residual	21,0	0,00	37°	0,10

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I - Relatório Geral do Projeto).

**Quadro 3.12 - Análise de Estabilidade Estática**

Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção (talude de montante)	1,30	1,628	1,624	2,320
Final de Construção (talude de jusante)	1,30	1,527	1,524	2,207
Reservatório Cheio (talude de jusante)	1,50	1,820	1,514	1,631
Esvaziamento Rápido (talude de montante)	1,10	1,603	1,539	1,854

**Quadro 3.13 - Análise de Estabilidade Sísmica**

Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção (talude de montante)	1,0	1,275	1,271	1,808
Final de Construção (talude de jusante)	1,0	1,518	1,215	1,775
Reservatório Cheio (talude de jusante)	1,0	1,441	1,311	1,308
Esvaziamento Rápido (talude de montante)	1,0	1,030	1,024	1,462

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I – Relatório Geral do Projeto).

### 3.6.8. Estudos de Percolação da Barragem

Os estudos de percolação efetuados tiveram como objetivo avaliar os valores das vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação, com vistas ao dimensionamento dos dispositivos de drenagem interna. Para obtenção destes valores foi adotado o processo gráfico do traçado da rede de fluxo admitindo a dissipação da carga total entre a entrada e a saída. No traçado da rede de fluxo foi considerada uma anisotropia entre as permeabilidades vertical e horizontal de 1/9.

A permeabilidade do maciço da barragem foi obtida a partir das análises dos ensaios de permeabilidade efetuados nos materiais das jazidas J-1 a J-3, cujos valores variaram de  $6,3 \times 10^{-7}$  cm/s a  $8,7 \times 10^{-7}$  cm/s. Foi adotada uma permeabilidade igual a  $7,0 \times 10^{-7}$  cm/s para o maciço da barragem e uma permeabilidade 100 vezes maior para o maciço rochoso da fundação. Foi considerada uma espessura de 20,0 m de profundidade de maciço rochoso de fundação permeável.

Para os materiais que serão utilizados nos dispositivos de drenagem interna foi adotada uma permeabilidade de  $6,8 \times 10^{-3}$  cm/s para a areia de rio, tendo como base os resultados dos ensaios de permeabilidade efetuados em amostras do



areal que variaram entre  $5,9 \times 10^{-3}$  cm/s e  $7,8 \times 10^{-3}$  cm/s. Para a brita foi considerada uma permeabilidade de  $6,8 \times 10^{-1}$  cm/s. As vazões obtidas para os dispositivos de drenagem interna foram de  $9,18 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>/s.m para o maciço da barragem e de  $1,0 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s.m para a fundação.

### 3.6.9. Análise dos Recalques

Tendo por finalidade corrigir a cota de coroamento da barragem para compensar as deformações elásticas a que é submetido o corpo do barramento, devido a ação do seu próprio peso, foi efetuada uma análise dos recalques.

Para tanto foi efetuado um cálculo simplificado, dividindo-se o maciço, em sua seção máxima, em lamelas de 2,0 m de espessura, sendo determinada para cada lamela a tensão vertical no meio da camada. O recalque total foi calculado pela seguinte expressão:

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

Onde: S – Recalque total em m;

$\sigma_{mi}$  – Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm<sup>2</sup>;

$\Delta H_i$  – Espessura da lamela;

$E_i$  – Módulo de elasticidade do material da lamela i.

O módulo de elasticidade foi obtido das curvas de Tensão x Deformação verificadas nos ensaios de compressão triaxial. Para facilidade de cálculo, sem que isso implicasse em perda de precisão, foi adotado o módulo secante, e considerada a variação da pressão de confinamento com a altura da barragem.

Considerando apenas a Jazida J-2, cujos materiais compõem o núcleo e a fundação da barragem, o peso específico aparente seco máximo obtido no ensaio de compactação foi de 1,74 tf/m<sup>3</sup> e a umidade ótima correspondente é de 16,6%. O peso úmido será de 2,02 tf/m<sup>3</sup>. Com base no peso úmido foram adotadas para efeito de tensão confinante, as tensões apresentadas no Quadro 3.14, as quais



foram medidas em função da altura da barragem, tomando como referência o eixo Z, com zero no coroamento e orientação para baixo.

**Quadro 3.14 - Tensão Confinante**

<b>Z (m)</b>	<b>Tensão Confinante (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
< 5,0	1,0
5,0 – 10,0	2,0
> 10,0	4,0

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I – Relatório Geral do Projeto).

Com base nas tensões confinantes obtidas, foram determinados os módulos de elasticidade para uso no cálculo dos recalques. Os resultados obtidos são apresentados no Quadro 3.15. O recalque elástico esperado é de 90mm, devendo esse rebaixamento do coroamento ser corrigido antes da colocação do revestimento primário.

**Quadro 3.15 - Módulo de Elasticidade**

<b>Tensão Confinante (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Módulo de Elasticidade (kN/m<sup>3</sup>)</b>	
	<b>F - 20</b>	<b>F - 60</b>
1,0	10.000	10.000
2,0	10.000	10.000
4,0	30.000	30.000

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume I – Relatório Geral do Projeto).

### 3.6.10. Ficha Técnica

As principais características das obras da Barragem Missi podem ser resumidas em:

**a) Características Gerais**

Nome .....	Barragem Missi
Município .....	Miraíma
Estado .....	Ceará
Curso d'água barrado .....	Rio Missi
Bacia Hidrográfica .....	652,6 km <sup>2</sup>
Bacia Hidráulica .....	1.285,0 ha
Volume de Acumulação.....	65,50 hm <sup>3</sup>
Vazão Regularizada (90% garantia) .....	330 l/s

**b) Barragem Principal**

Tipo .....	Terra Zoneada
Cota do coroamento .....	57,80 m
Cota NA maximorum (Tr = 1.000 anos).....	56,21 m
Comprimento do coroamento .....	706,0 m
Largura do coroamento .....	6,0 m
Altura máxima acima das fundações.....	17,3 m
Talude montante.....	1:2,5
Talude de jusante .....	1:2

**c) Barragem Auxiliar nº 1**

Tipo .....	Terra Zoneada
Comprimento do coroamento .....	552,0 m
Altura máxima acima das fundações.....	6,45 m
Talude montante.....	1:2,5
Talude de jusante .....	1:2

**d) Barragem Auxiliar nº 2**

– Tipo .....	Terra Zoneada
– Comprimento do coroamento .....	217,7 m
– Altura máxima acima das fundações .....	3,17 m
– Talude montante.....	1:2,5



- Talude de jusante.....1:2

#### **e) Barragem Auxiliar nº 2 A**

- Tipo .....Terra Zoneada
- Comprimento do coroamento .....37,0 m
- Altura máxima acima das fundações .....3,56 m
- Talude montante.....1:2,5
- Talude de jusante.....1:2

#### **f) Sangradouro**

- Tipo .....Canal Natural  
Escavado (soleira Perfil Creager )
- Cota da soleira .....54,7 m
- Largura.....150,00 m
- Lâmina máxima .....1,51 m (Tr =  
1.000 anos)
- Descarga de projeto.....608,7 m<sup>3</sup>/s

#### **g) Tomada D'água**

- Diâmetro.....500 mm
- Comprimento.....79,0 m
- Vazão regularizada.....0,33 m<sup>3</sup>/s

#### **3.6.11. Quantitativos e Custos do Projeto**

As obras pertinentes à construção da Barragem Missi foram orçadas em R\$ 10.155.566,75 <sup>(1)</sup>. O resumo com os valores das estruturas das obras, bem como o valor total, podem ser visualizados no Quadro 3.16.

#### **3.6.12. Cronograma de Construção**

O cronograma de construção das obras da Barragem Missi foi elaborado com o objetivo de orientar a Empreiteira quanto à seqüência de execução de cada



serviço, tendo sido previsto um prazo de 360 dias para a construção da barragem.

### Quadro 3.16 - Custo das Obras do Reservatório

Discriminação	Valor (R\$) <sup>(1)</sup>
Administração e Fiscalização	7.183,88
Serviços Preliminares	1.346.875,50
Barragem	4.069.030,69
Drenagem Superficial	32.307,88
Cortina de Injeção	81.033,72
Sangradouro	3.678.812,90
Drenagem Profunda	563.670,90
Tirantes	144.188,96
Tomada D'água	210.015,62
Instrumentação	22.446,70
<b>Total</b>	<b>10.155.566,75</b>

Fonte: FONTE: SRH, Minutado Projeto Executivo da Barragem Missi.

Fortaleza, Montgomery Watson/

Engesoft, 2002. (Volume I - Relatório Geral do Projeto).

(1) Valores expressos em reais de maio de 2002.

### 3.6.13. Projeto da Adutora de Amontada

O Sistema Adutor de Amontada tem como objetivo garantir o abastecimento d'água da sede do referido município pelos próximos 20 anos, tendo como fonte hídrica a Barragem Missi.

No dimensionamento e definição da vazão de projeto foi considerada uma população beneficiada de 12.475 habitantes, tendo como horizonte o ano de 2023. A evolução das demandas e vazões de projeto são apresentadas no Quadro 3.17. A captação deverá ser feita diretamente do lago formado pela futura Barragem Missi, situada na localidade Fazenda Conceição, distando cerca de 14 km a montante de Amontada. A partir do barramento o caminhamento da adutora acompanhará a estrada carroçável que se desenvolve inicialmente pela margem direita do rio Missi, passando em seu trecho final a margear o rio Aracatiaçu (Figura 3.5). O sistema de captação será composto por conjuntos moto-bombas submersíveis (1+1 reserva) instalados sobre plataforma flutuante, com potência das bombas de 67 Cv, que realizará o recalque através de uma



tubulação PEAD com 90 m de extensão até a margem do espelho d'água. A potência da subestação elétrica é de 75 Kva.

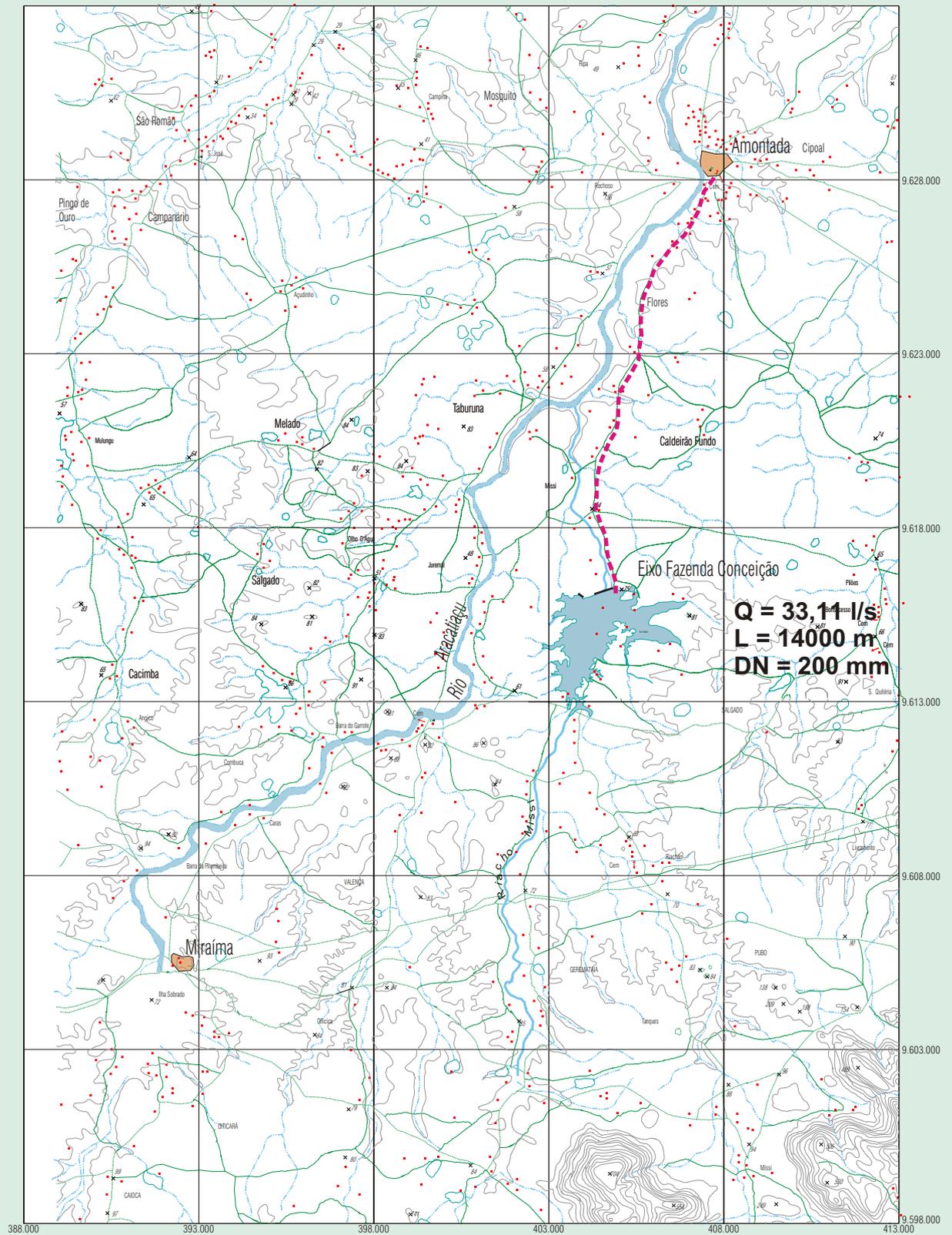
### Quadro 3.17

#### Evolução da Demanda d'Água da Adutora de Amontada

Anos do Projeto	Demanda (m <sup>3</sup> /ano)	Vazão Média (l/s)	Vazão do Dia de Maior Consumo (l/s)
1996	293.761,13	12,42	14,90
2005	383.291,64	16,21	19,45
2010	444.340,06	18,79	22,54
2020	597.155,88	25,25	30,30
2023	652.528,36	27,59	33,11

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Missi. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. (Volume 2 – Estudo de Alternativas de Localização das Adutoras).

# FIGURA - 3.5 LOCALIZAÇÃO DO TRAÇADO DA ADUTORA





A água será bombeada bruta até a ETA existente, construída pela FUNASA – Fundação Nacional de Saúde, que só então será colocada em operação. Para aduzir a água da Barragem Missi até a estação de tratamento deverá ser implantada uma linha adutora de água bruta de 13.300 m de extensão, com diâmetro de 200 mm. A vazão do sistema (máxima diária de final de ano) é de 29,63 l/s e a classe de pressão máxima dos tubos de 1 Mpa.

A estação de tratamento construída pela FUNASA que será aproveitada pelo atual projeto é do tipo ETA compacta em fibra de vidro, sendo composta por dois Clarifyber II da Hemfibra com vazão de 40 a 70 m<sup>3</sup>/h, modelo CLA – II Série 300, câmara de carga em fibra de vidro e barrilete de interligação da câmara de carga aos filtros e destes ao reservatório apoiado em fibra de vidro. Não se faz necessário a instalação de mais unidades de filtragem, uma vez que o sistema existente atende com bastante folga a vazão máxima diária para Amontada no ano 2023 que é de 29,63 l/s (106,67 m<sup>3</sup>/h). A estação elevatória de lavagem dos filtros conta com um grupo motobomba Meganorm bloc 100-200 Rotor 219, com motor de 15 Cv e arranjo 2+1, tendo capacidade para ser reaproveitada pelo empreendimento ora em análise. A estação elevatória de água tratada, por sua vez, conta com um grupo motobomba Meganorm bloc 80-160 Rotor 154/1 22, com motor de 5 Cv e arranjo 1+1, não tendo capacidade suficiente para atender o sistema razão pela qual deverá ser substituída, juntamente com todo o sistema elétrico de acionamento. A casa de química é composta por um laboratório, casa de cloração, casa de sulfato com tanques em fibra e motores, dois depósitos e um banheiro.

Depois de filtrada e clorada a água será armazenada no reservatório com capacidade de 200 m<sup>3</sup>, construído pela FUNASA, e que ainda não foi posto em operação. A partir daí a água será aduzida através de uma adutora de água tratada com extensão de 860 m e diâmetro de 200 mm, a ser construída, até o reservatório elevado existente na cidade de Amontada (200 m<sup>3</sup>).



Complementando o sistema de reservação será construído mais um reservatório apoiado com capacidade de 450 m<sup>3</sup>, garantindo assim a reservação necessária para o final de plano (850 m<sup>3</sup>).

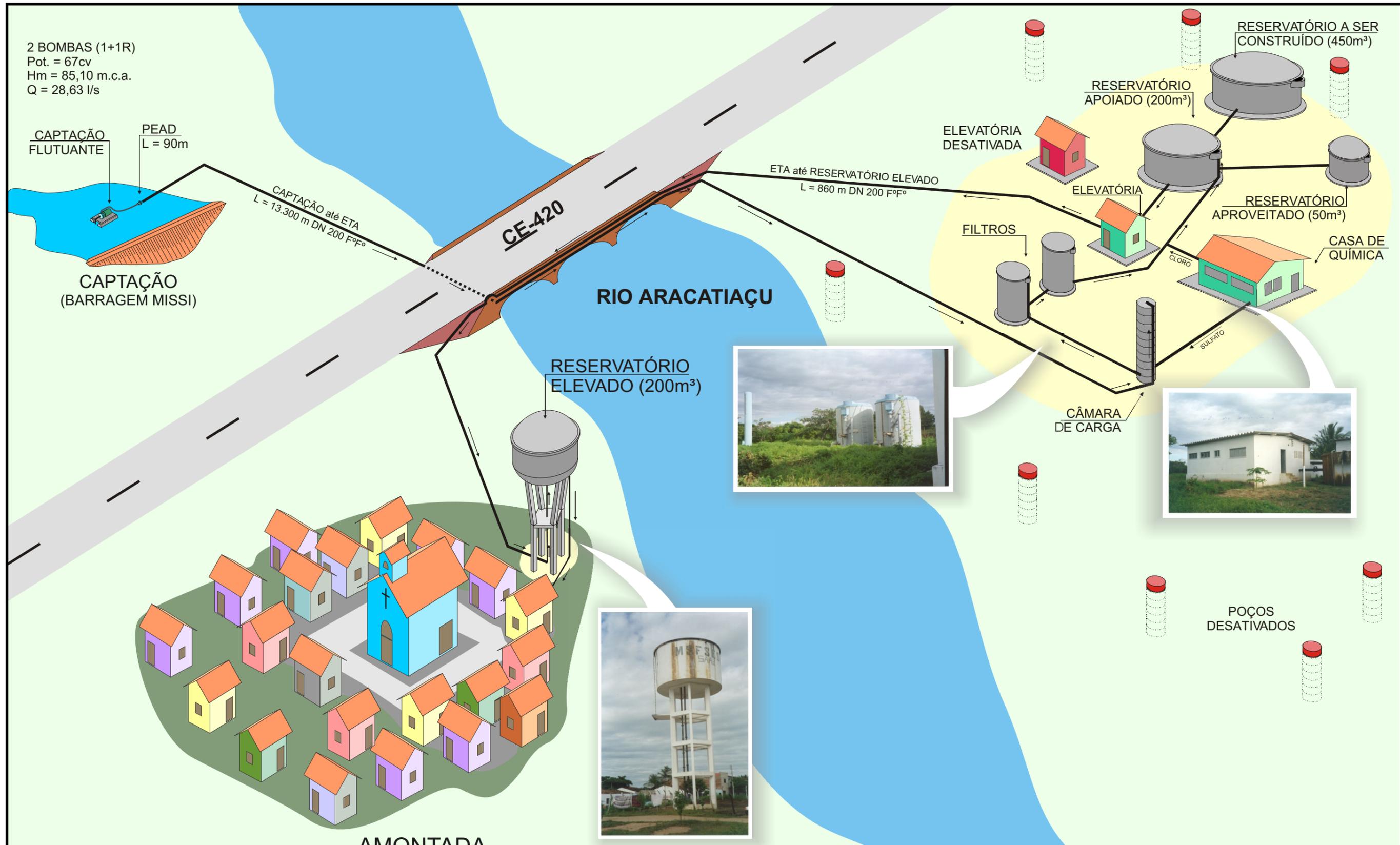
O sistema de poços, a elevatória de água tratada, a adutora de água tratada e o reservatório de reunião que integram o atual sistema em operação na cidade de Amontada serão desativados. O croqui do sistema proposto pode ser visualizado na Figura 3.6.

As características técnicas do Sistema Adutor de Amontada são as seguintes:

- Manancial: Barragem Missi;
- População beneficiada no ano 2023: 12.475 hab;
- Tipo de Captação: bombas submersíveis em flutuante;
- Número de Bombas da Captação: 1+1 de reserva;
- Potência das Bombas da Captação: 67,0 Cv;
- Potência da Subestação Elétrica: 75,0 Kva;
- Adutora de Água Bruta (extensão): 13.300 m;
- Adutora de Água Bruta (diâmetro): 200 mm;
- Adutora de Água Bruta (vazão do sistema – máxima diária de final de 1 ano): 29,63 l/s;
- Adutora de Água Bruta (classe pressão máxima dos tubos): 1 Mpa;
- Adutora de Água Tratada (extensão): 860 m;
- Adutora de Água Tratada (diâmetro): 200 mm;



- Adutora de Água Tratada (vazão do sistema – máxima diária de final de 1 ano): 29,63 l/s;
- Adutora de Água Tratada (classe pressão máxima dos tubos): 1 Mpa;
- Tipo de Tratamento: ETA Compacta em fibra de vidro (construída pela FUNASA);
- Reservação: 1 reservatório elevado com 200 m<sup>3</sup> (construído pela FUNASA), 1 reservatório elevado com 200 m<sup>3</sup> (existente em Amontada) e 1 reservatório apoiado com capacidade de 450 m<sup>3</sup>, perfazendo ao todo uma reservação de 850 m<sup>3</sup>.



2 BOMBAS (1+1R)  
 Pot. = 67cv  
 Hm = 85,10 m.c.a.  
 Q = 28,63 l/s

CAPTAÇÃO FLUTUANTE  
 PEAD L = 90m

CAPTAÇÃO até ETA  
 L = 13.300 m DN 200 FºFº

ETA até RESERVATÓRIO ELEVADO  
 L = 860 m DN 200 FºFº

RESERVATÓRIO ELEVADO (200m³)

RESERVATÓRIO APOIADO (200m³)

RESERVATÓRIO A SER CONSTRUÍDO (450m³)

RESERVATÓRIO APROVEITADO (50m³)

FILTROS

ELEVATÓRIA

ELEVATÓRIA DESATIVADA

CASA DE QUÍMICA

CÂMARA DE CARGA

POÇOS DESATIVADOS

AMONTADA (DISTRIBUIÇÃO)  
 100% DE ATENDIMENTO



<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS - SRH		
PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.		
RELATÓRIO DE ESTUDOS AMBIENTAIS		
Projeto:	ADUTORA DE AMONTADA SISTEMA DE ADUÇÃO DE ÁGUA PROPOSTO	Arquivo:
Visto:		FIGURA_3-6.cdr
Verificado:		Data de Emissão:
Aprova:		JUNHO/2002
		Escala:
	SEM ESCALA	
	Nº do Desenho:	
	FIGURA_3,6	





### **3.7. PLANOS E PROGRAMAS COLOCALIZADOS**

Quanto à inserção regional do empreendimento, não foi constatada a existência de programas governamentais ou privados, implementados ou projetados, que exerçam influência sobre a área do projeto.

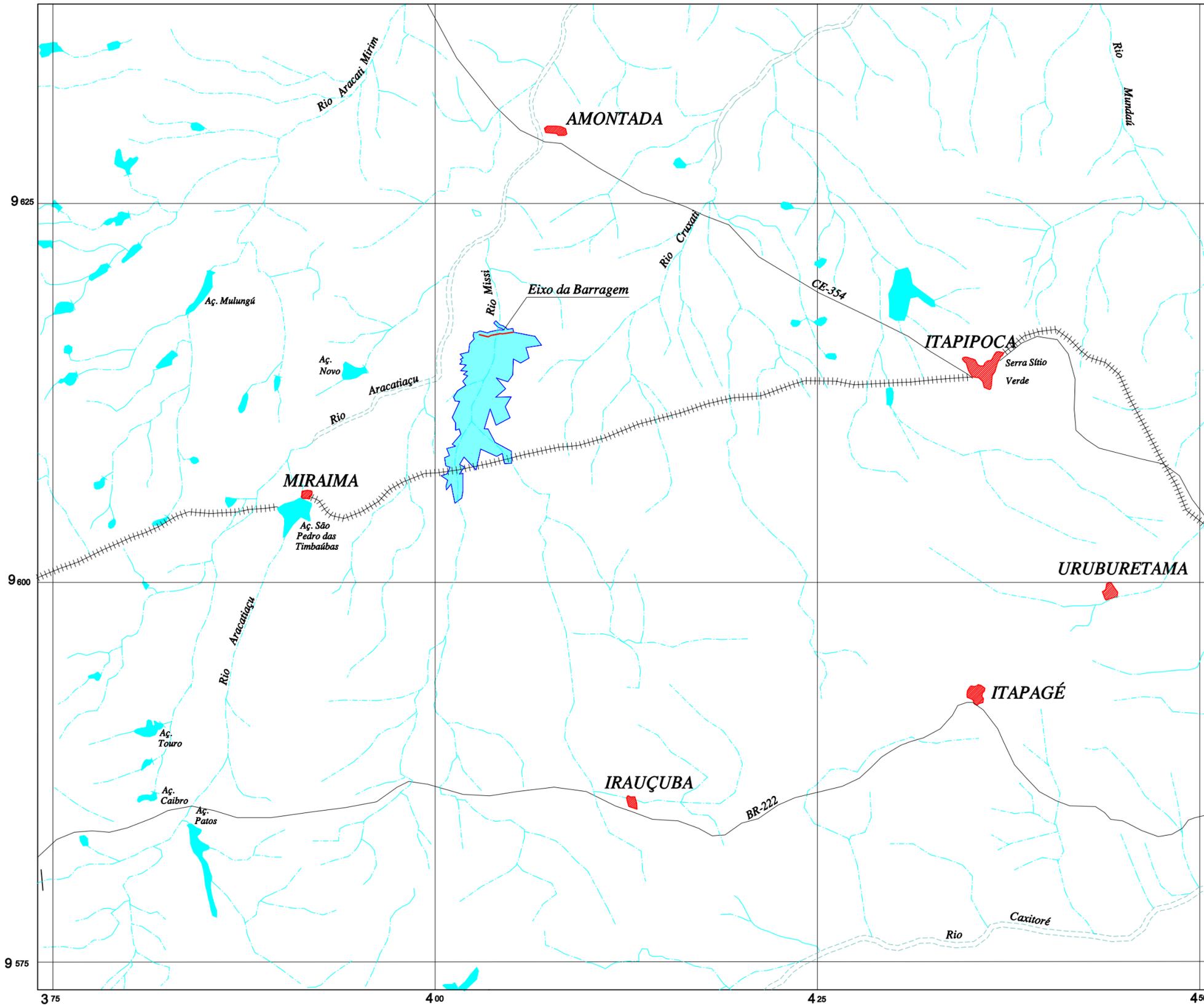


## **LISTA DE DESENHOS**

- 01/04- Mapa de Localização e Acessos
- 02/04- Mapa Planialtimétrico da Bacia Hidráulica
- 03/04- Perfil Geológico/Geotécnico do Eixo
- 04/04- Arranjo Geral das Obras

## **LISTA DE FIGURAS**

- 3.1 – Localização do Projeto em Relação ao Estado do Ceará
- 3.2 – Alternativas de Eixos Barráveis
- 3.3 – Curva de Custo do m<sup>3</sup> Regularizado x Volume Armazenado
- 3.4 – Croqui de Localização das Áreas de Empréstimo
- 3.5 – Localização do Traçado da Adutora
- 3.6 – Sistema de Adução d'Água Proposto



**CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**

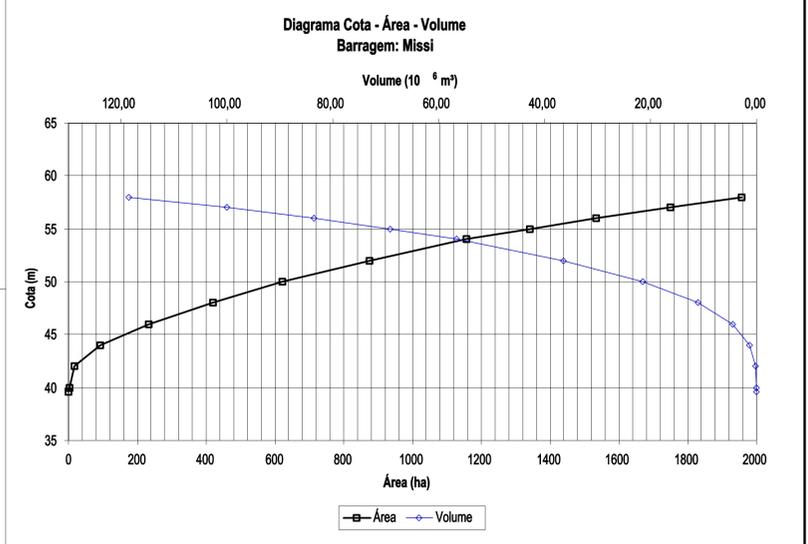
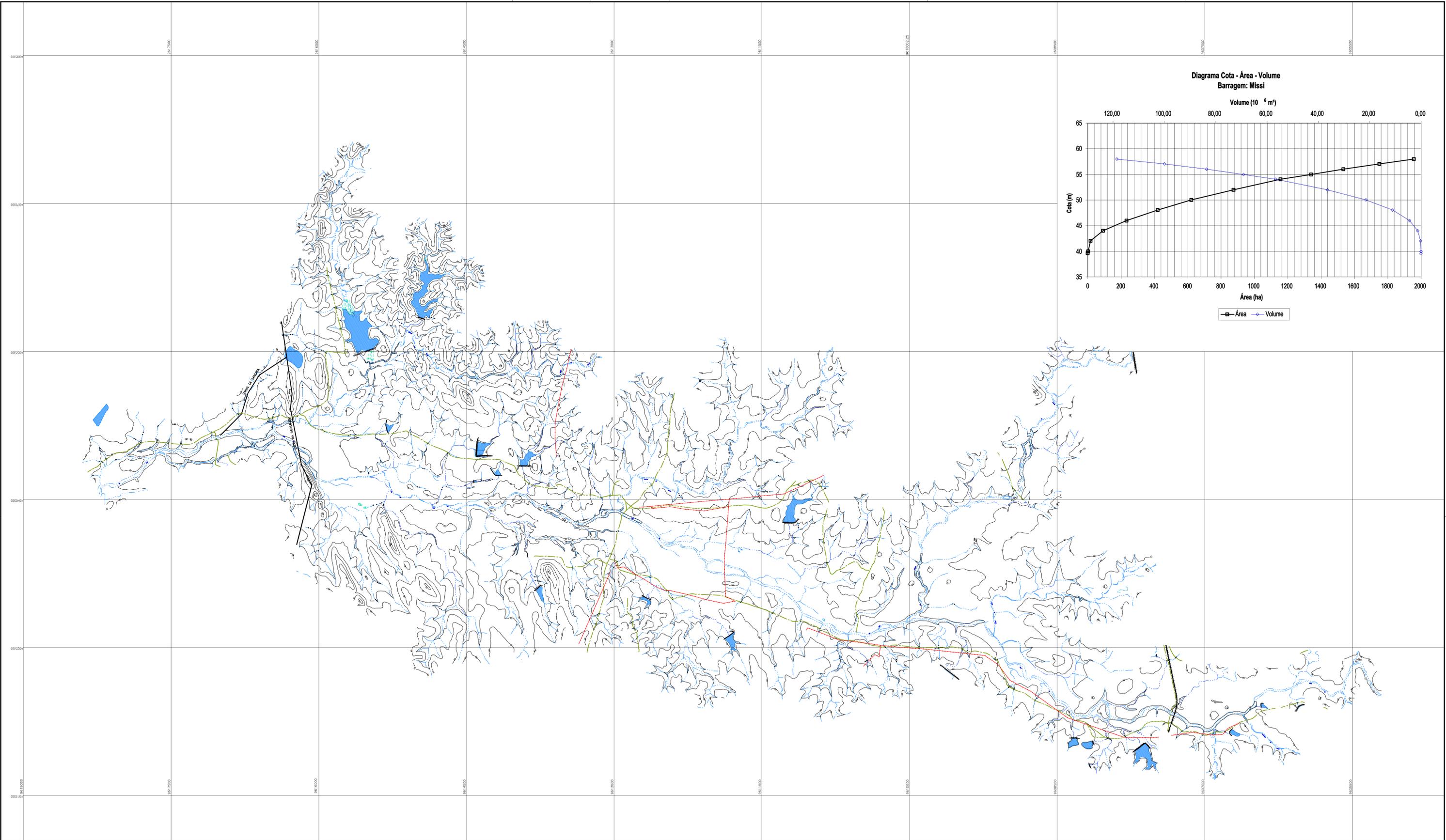
-  Açudes
-  Lagoas
-  Rio
-  Sede Municipal
-  Rodovia
-  Limite Bacia Hidráulica
-  Estrada de Ferro

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH

PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.

PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM MISSI

Projeto :	RELATÓRIO DE ESTUDOS BÁSICOS ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	Arquivo DES_01-04_Mapa de Localizacao.dwg
Visto :		Data de Emissão : JUNHO/2002
Verificado :	CONSORCIO:	Escala : 1:250.000
Aprova :	 	Nº do Desenho : DES_01_04



LEGENDA :

- CURSO D'ÁGUA INTERMITENTE
- CURVA DE NÍVEL
- ESTRADAS
- LINHA DE ALTA TENSÃO E TELEFONE

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

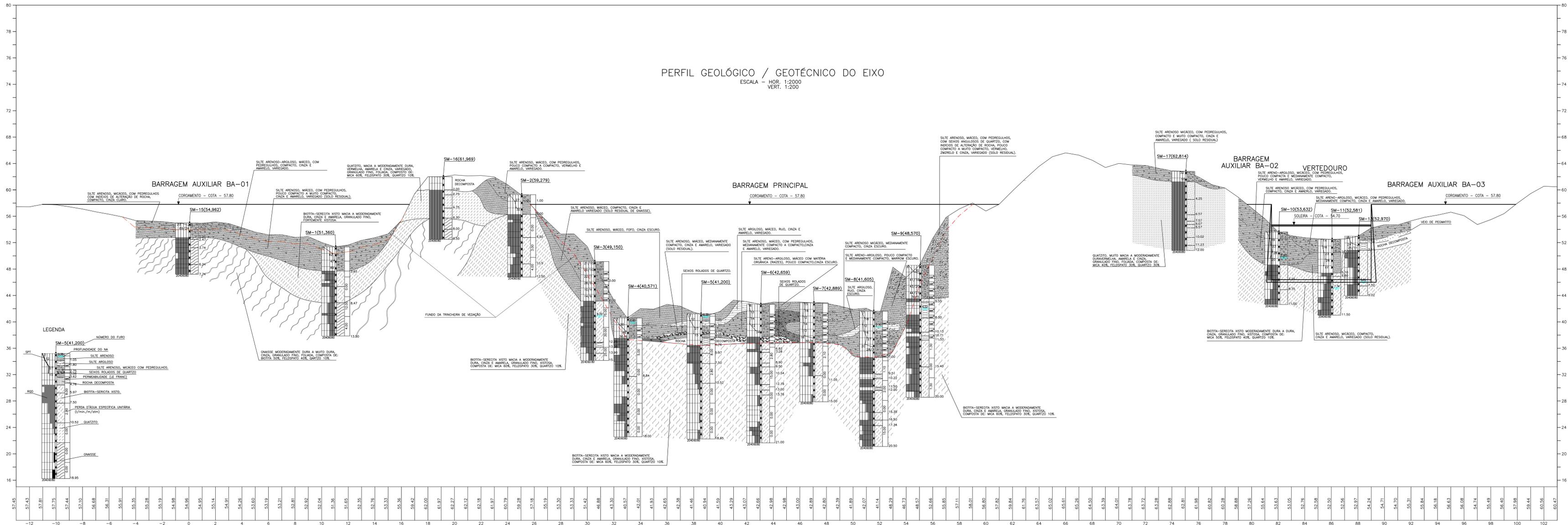
REVISÕES

Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

<p><b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH</p> <p>PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.</p> <p>PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM MISSI</p>	
Projeto :	RELATÓRIO DE ESTUDOS BÁSICOS
Visão :	ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL
Verificado :	MAPA PLANIALTIMÉTRICO DA BACIA HIDRÁULICA
Aprova :	

Arquivo: 05c\_02\_04\_cota\_Parametricas.dwg  
Data de Emissão: JUNHO/2002  
Escala: 1:15.000  
Nº do Desenho: DES\_02/04

PERFIL GEOLÓGICO / GEOTÉCNICO DO EIXO  
 ESCALA - HOR. 1:2000  
 VERT. 1:200



LEGENDA :

Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES

Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.

PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM MISSI

Projeto :  
 Relat. de Estudos Básicos  
 Estudo de Impacto Ambiental  
 Perfil Geológico Geotécnico do Eixo

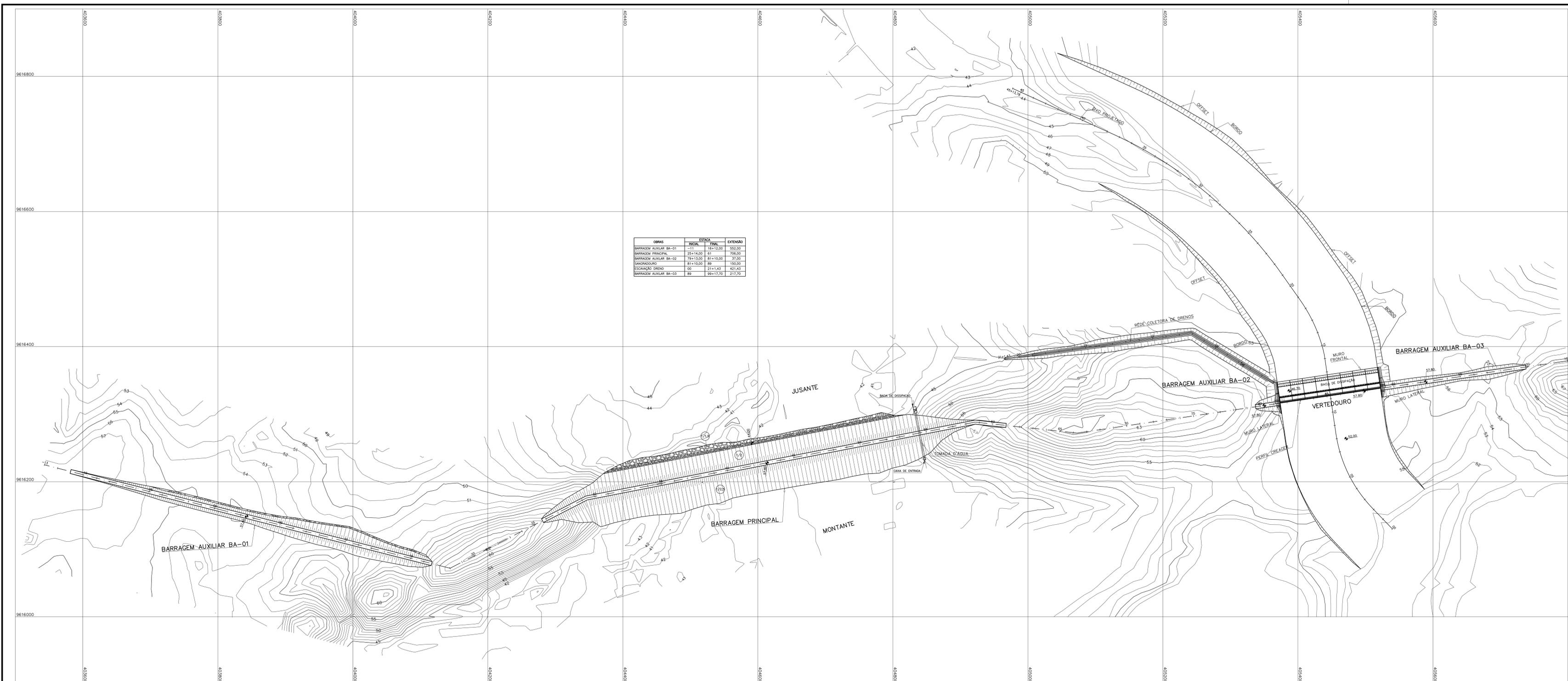
Verificado :  
 CONSORCIO

Montgomery Watson  
 EngSoft

Rel. de Emissão :  
 JUNHO/2002

Escala :  
 H=1:2000 V=1:200

Nº do Desenho :  
 DES\_03\_04



OBRAS	ESTACA		EXTENSÃO
	INICIAL	FINAL	
BARRAGEM AUXILIAR BA-01	1+11	15+12,00	102,00
BARRAGEM PRINCIPAL	25+14,00	61	706,00
BARRAGEM AUXILIAR BA-02	79+13,00	81+10,00	37,00
ENGRANDECIMENTO	81+10,00	89	130,00
ESCAVAÇÃO DRENHO	00	21+1,43	421,43
BARRAGEM AUXILIAR BA-03	89	99+17,70	217,70

LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES			
Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA. PROJETO EXECUTIVO BARRAGEM MISSI	
Projeto : Visto : Verificado : Aprove :	<b>RELATÓRIO DE ESTUDOS BÁSICOS</b> ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL ARRANJO GERAL DAS OBRAS
Arquivo : Data de Emissão : Escala : Nº do Desenho :	DES_04_04_Arranjo Geral das OBRAS JUNHO/2002 1:2000 DES_04_04

**Consórcio**

---



MONTGOMERY WATSON

