



Março de 2003

**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**



SRH Secretaria dos Recursos Hídricos

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

BARRAGEM RIACHO DA SERRA

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

RELATÓRIO DE ESTUDOS BÁSICOS



MONTGOMERY WATSON





MONTGOMERY WATSON



ÍNDICE



ÍNDICE

Páginas

ÍNDICE	1
1. INTRODUÇÃO	4
2. ASPECTOS LEGAIS E INSTITUCIONAIS	6
3. O PROJETO	15
3.1 - Identificação do Empreendedor	16
3.2 - Localização e Acessos	16
3.3. Usos Múltiplos do Reservatório	17
3.4. Estudos de Alternativas	17
3.5. Estudos Básicos	23
3.5.1. Estudos Topográficos	23
3.5.2. Estudos Hidrológicos	27
3.5.3. Estudos Geológicos/Geotécnicos	31
3.5.3.1. Geologia	31
3.5.3.2. Geotecnia	36
3.5.3.3. Materiais de Empréstimos	42
3.6. Concepção e Dimensionamento do projeto	45
3.6.1. Arranjo Geral das Obras	45
3.6.2. Barragem	45
3.6.3. Sangradouro	47
3.6.4. Tomada d'Água	47



3.6.5. Análise de Estabilidade-----	47
3.6.6. Estudos de Percolação da Barragem -----	49
3.6.7. Análise dos Recalques -----	53
3.6.8. Instrumentação-----	54
3.6.9. Ficha Técnica -----	55
3.6.10. Quantitativos e Custos do Projeto-----	59
3.6.11. Cronograma de Construção -----	60
3.6.12.Canteiro de Obras-----	60
3.6.13. Projeto da Adutora de Alto Santo -----	61
3.7. Planos e Programas Co-localizados-----	66
ENCARTE -----	68



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 no 02/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH-CE 2001, que tem como objetivo os Estudos de Alternativas, EIA/RIMA's, 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 relatório é parte integrante do Estudo de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) do Projeto da **Barragem Riacho da Serra**, dentro do Módulo II - Estudo dos Impactos no Meio Ambiente decorrentes da construção e operação do reservatório, tendo sua composição abordando os seguintes capítulos:

- Introdução;
- Aspectos Legais e Institucionais;
- O 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 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 meio ambiente, destacam-se os seguintes dispositivos legais:

- Constituição Federal;
- Decreto n.º 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 n.º 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 pelas 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-CE), 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-CE, 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-CE 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 a 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 figura como dispositivo legal à lei orgânica do município de Iracema.

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 executou para SRH-CE 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-CE, 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-CE. 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 Riacho da Serra 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 Riacho da Serra será formada pelo barramento do riacho homônimo, cuja bacia hidrográfica ocupa uma posição a noroeste no município de Iracema, e a sudoeste no município de Alto Santo no Estado do Ceará. A barragem fechará o boqueirão existente na região denominada Cacimba do Cunha, a 12,0 km da sede do município de Alto Santo. O reservatório terá sua bacia hidráulica totalmente inclusa nos territórios dos municípios de Alto Santo e Iracema .

A Figura 3.1 apresenta a localização do empreendimento a nível regional, enquanto que o Desenho 01, 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 Alto Santo 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-116 até o entrocamento com a CE- 138, onde percorre-se 18km até a cidade de Alto Santo. A partir daí, toma-se à direita a CE-138 em direção a Iracema, percorrendo-se nesta 6,0 km até o entroncamento com a estrada vicinal que permite o acesso ao



eixo do barramento, na qual se segue por mais 6,0 km até o local do boqueirão, situado junto a Fazenda do Sr. Otacílio Diógenes. O acesso aéreo é permitido através das cidades de Alto Santo e Iracema, distantes cerca de 12,0 e 30,0 km do eixo do barramento, respectivamente, as quais contam com campo de pouso para pequenas aeronaves.

3.3. USOS MÚLTIPLOS DO RESERVATÓRIO

A Barragem Riacho da Serra servirá para múltiplos usos, dentre os quais citam-se o abastecimento d'água regularizado à cidade de Alto Santo, a perenização do vale do riacho da Serra 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 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 vale do riacho da Serra. No trecho imediatamente a montante da cidade de Alto Santo o referido riacho se desenvolve por terrenos com topografia suavemente ondulada, pouco propícia a implantação de barramentos até as imediações da localidade de Cacimba do Cunha. A partir daí o vale se estreita passando a se desenvolver em terrenos montanhosos, sendo várias as possibilidades de localização de eixos barráveis, uma vez que as condições geológicas são praticamente iguais ao longo de todo o vale.

Com base na pesquisa de campo efetuada foram selecionadas quatro alternativas de eixos barráveis, numeradas de forma crescente de jusante para montante (Eixo I ao Eixo IV), cujas localizações podem ser visualizadas na Figura 3.2.

FIGURA - 3.1
Localização da Barragem no Âmbito Regional

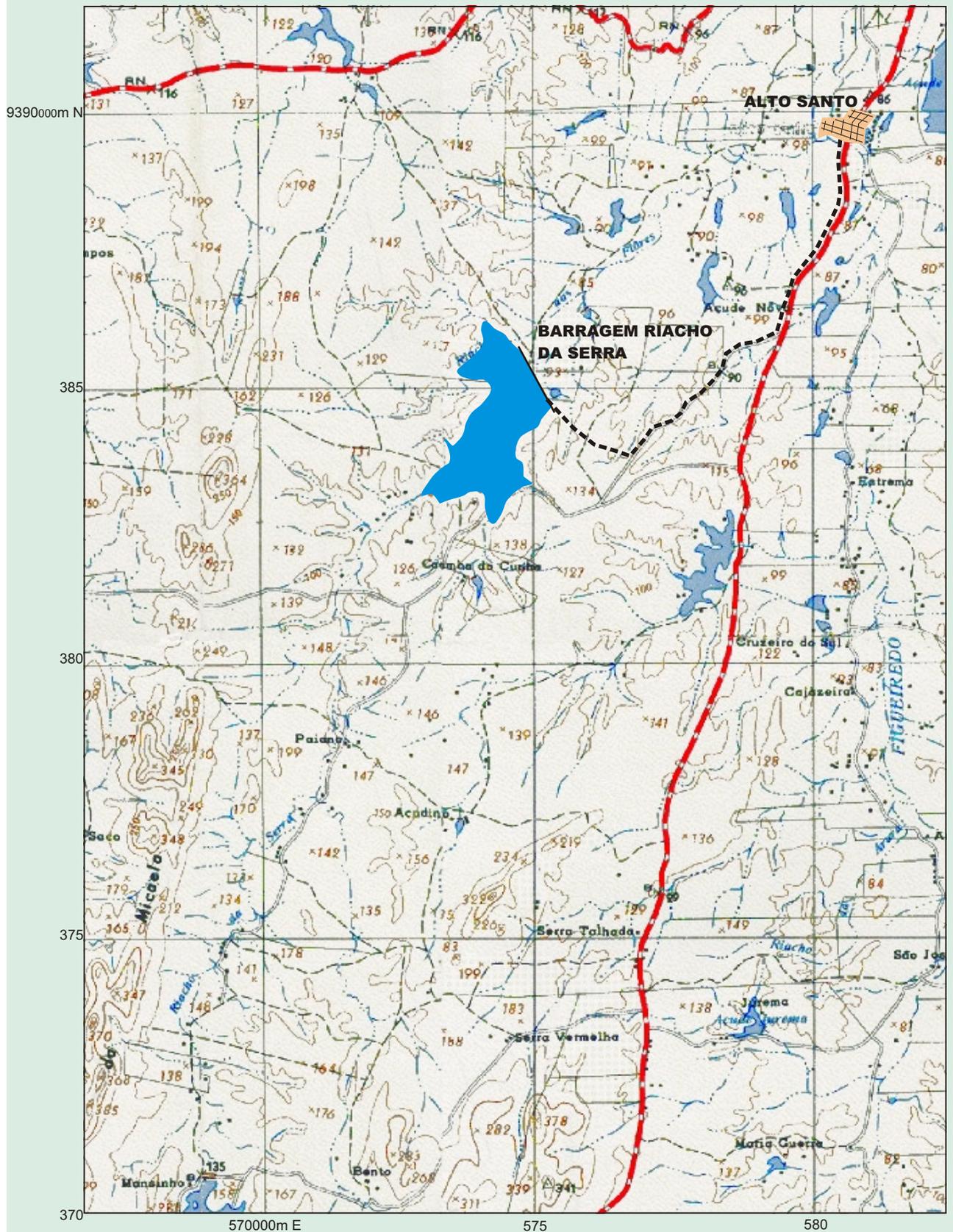
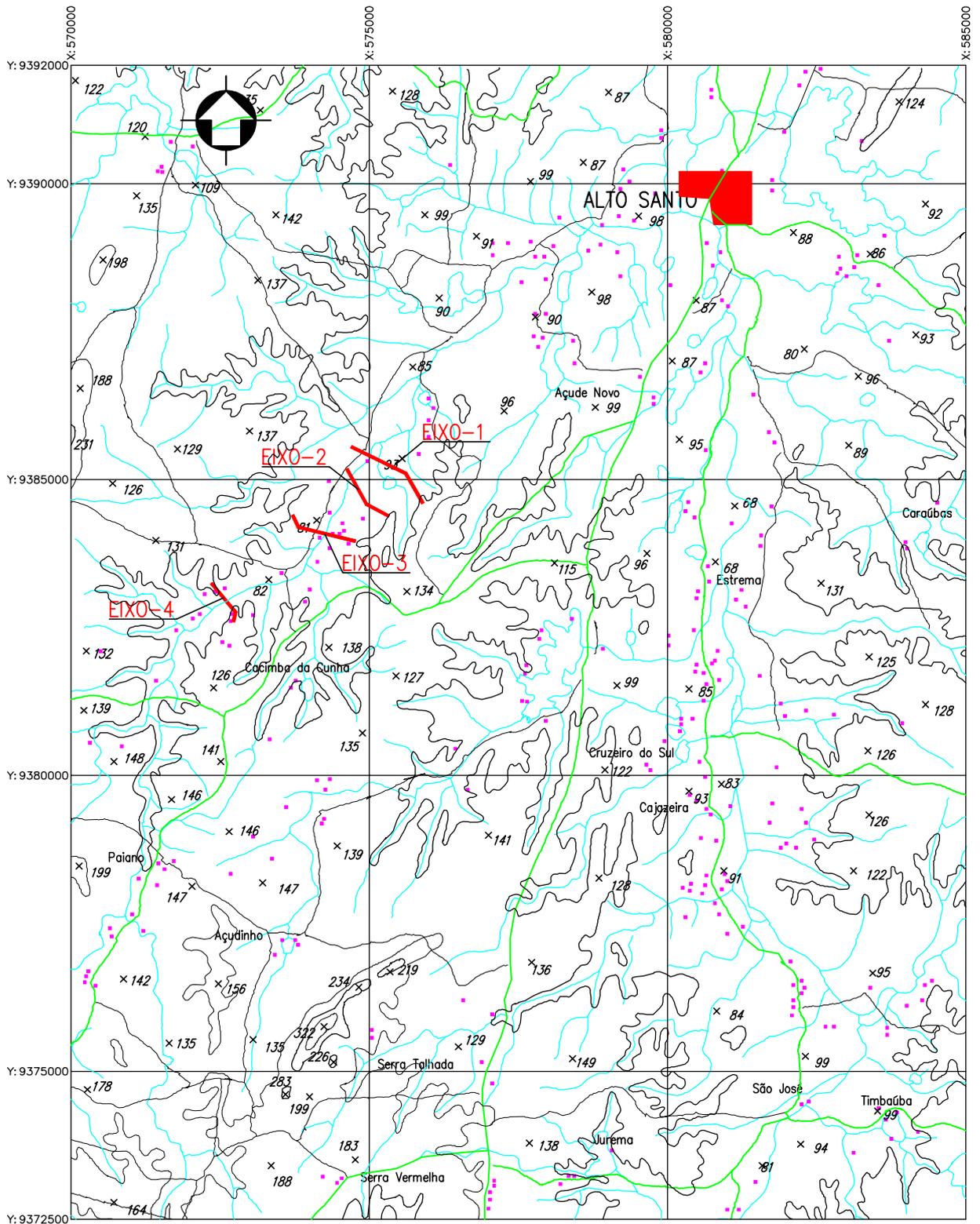


FIGURA 3.2

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DOS EIXOS ALTERNATIVOS DA BARRAGEM PARA ABASTECIMENTO DE ALTO SANTO



ESCALA: 1:100.000



O Quadro 3.1 apresenta algumas características básicas das alternativas de barramentos estudadas para uma mesma capacidade de acumulação (20,0 hm³). Observa-se que o Eixo II proporciona um maciço de terra mais econômico que os demais eixos alternativos. Caso a seção da barragem fosse adotada em concreto compactado à rolo (CCR), o Eixo II continuaria proporcionando o menor volume de maciço com cerca de 43.260 m³, seguido pelo Eixo III com 49.394 m³. Os custos de implantação das obras e do m³ regularizado apresentam-se baixos para o Eixo II, médios para os eixos I e IV e altos para o Eixo III.

Quadro 3.1 – Características Básicas das Alternativas de Barramento

Eixo	Cota da Crista (m)	Cota de Sangria (m)	Volume Acumulado (hm ³)	Extensão (m)	Altura Máxima (m)	Altura Média (m)	Volume do Maciço (m ³)
I	91,5	86,5	20,0	1.446	18,5	9,12	336.645
II	92,6	87,6	20,0	630/254	16,6/8,5	10,55/4,76	209.965
III	94,7	89,7	20,0	825	18,7	10,02	227.818
IV	102,6	97,6	20,0	577	24,6	12,87	252.012

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Estudo de Alternativas de Localização das Barragens - Texto. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002.

Com relação às capacidades de armazenamento e regularização, observa-se uma equiparação das alternativas de eixos barráveis II e IV, sendo o volume armazenado na alternativa do Eixo I menos significativo do que os das alternativas já citadas.

No que se refere às condições de fundação das obras, as diferentes alternativas de barramento estudadas apresentam características geológicas mais ou menos semelhantes em termos litológicos e tectônicos, tendo o Eixo 2 como vantagem o fato de apresentar melhores condições de fundação e menor extensão do eixo, se comparada com as demais alternativas. Quanto à disponibilidade de materiais de construção dentro de uma distância econômica da área das obras, constata-se



que as jazidas de materiais terrosos e pétreos, se posicionam a distâncias econômicas em todas as alternativas, principalmente no que concerne à areia de rio.

Quanto às condições ambientais e socioeconômicas vigentes nas áreas dos eixos barráveis constatou-se que qualquer que seja a alternativa adotada o número de imóveis rurais a serem desapropriados e de famílias a serem relocadas é pouco significativo. Com efeito, nos eixos I, II e III serão desapropriados seis imóveis rurais, sendo necessário a relocação de 15 pessoas distribuídas em três famílias. No Eixo IV o número de habitações atingidas se eleva para 8 casas. As interferências com infra-estruturas de uso público estão restritas a trechos de rede elétrica de baixa tensão e de estradas vicinais em todas as alternativas.

Quanto a submersão de solos agricultáveis, a composição dos solos predominantes na área da bacia hidráulica é igual qualquer que seja a alternativa selecionada, estando os solos com potencial agrícola restritos apenas as aluviões do riacho da Serra. Não foi constatada a presença de áreas de relevante interesse ecológico, tais como reservas indígenas, unidades de conservação, patrimônios arqueológico e paleontológico tombados ou em processo de tombamento, ou com espécies endêmicas da flora ou da fauna em nenhuma das alternativas de eixo barrável.

Os riscos de salinização das águas represadas são considerados médios, face a presença de solos salinos na bacia de contribuição de todas as alternativas de eixo, 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 podem ser considerados muito baixos, não tendo sido constatada a presença de áreas irrigadas e de núcleos urbanos na retaguarda do reservatório, qualquer que seja a alternativa adotada.

Quanto aos eixos adutores foi efetuado um estudo detalhado dos percursos considerando as opções II e IV dos eixos barráveis propostos, tendo sido



levantado os custos de implantação e de consumo de energia ao longo da vida útil do projeto, conforme pode ser visualizado no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Custos de Implantação dos Sistemas Adutores

Discriminação	Extensão da Adutora (m)	DN (mm)	Investimento (R\$)	Custo e Manutenção de Energia (R\$)	Custo Total (R\$)
Eixo II	9.700	150	357.037,38	168.177,82	525.215,20
Eixo IV	13.200	150	485.865,30	228.860,54	714.725,84

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Estudo de Alternativas de Localização das Adutoras - Texto. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002.

Em suma, 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 m³ 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. 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.

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;

**Quadro 3.3 - Critérios Preconizados**

Item	Aspectos	Fator de	Classificação	Pontos
1	Barragem			
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 ³ 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
2	Adutora			
2.1	Custo de implantação e operação	3	Baixo	3
			Médio	2
			Alto	0

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Estudo de Alternativas de Localização das Barragens - Texto. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002.

Quadro 3.4 - Matriz de Decisão para Localização do Eixo Barrável

Abastecimento da cidade de Alto Santo

Projeto da Barragem Riacho da Serra

Opção de eixo	Custo de implant.	Vazão regularizada	Custo m3 regulariz.	Volume do reservatório	Área inundada	Impac.amb. (biofísico)	Impac.amb. (socio econ)	Reassent. populacional	Remanej. Infraestrutura	Custo da adutora	Total pontos associados	Total pontos ponderados	Classificação
	Fator de ponderação												
	3	1	3	2	1	2	2	3	2	3			
Eixo I	médio	grande	médio	pequeno	pequena	pequeno	pequeno	pequeno	pequeno	pequeno	23	51	3º
Eixo II	baixo	grande	baixo	médio	pequena	pequeno	pequeno	pequeno	pequeno	pequeno	27	61	1º
Eixo III	alto	grande	alto	grande	média	pequeno	pequeno	pequeno	pequeno	pequeno	21	44	4º
Eixo IV	médio	grande	baixo	médio	pequena	pequeno	pequeno	pequeno	pequeno	médio	25	55	2º

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Estudo de Alternativas de Localização das Barragens - Texto. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002.

Alternativa Escolhida: Eixo II



- 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 20 m até a estaca 5 e a cada 50 m no restante do traçado, tendo sua poligonal locada a partir da estaca 8S do eixo do sangradouro, acompanhando o talvegue à jusante, apresentando 1.106,5 m de extensão;
- Levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, com seccionamento a cada 20 m até a Estaca 05 e de 50 m no restante do traçado, 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 55 km² e mapas digitais na escala 1:5.000 da bacia hidráulica que totalizaram 26,0 km². Os produtos gerados pelo levantamento aerofotogramétrico constam de uma coleção de aerofotos na escala do vôo (28 fotos); um foto índice na escala de 1:60.000; monografias dos vértices implantados, uma coleção de CD-ROM, contendo 23 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, 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 quatro jazidas de material terroso (J-1 a J-4), um areal no leito do rio Figueiredo, e uma pedreira. Ressalta-se que, o material granular obtido das escavações da fundação do barramento e o material pétreo obtido das escavações do sangradouro serão utilizados nas obras do barramento.

3.5.2. Estudos Hidrológicos

Os estudos hidrológicos realizados objetivaram fornecer informações e elementos relativos aos aspectos fisiográficos e hidroclimatológicos da bacia de contribuição da Barragem Riacho da Serra, necessários ao desenvolvimento do projeto de engenharia, com vistas ao dimensionamento do reservatório a ser implantado.

Desta forma foi efetuada uma caracterização dos aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica do riacho da Serra, considerando o sistema de drenagem e açudes existentes, tipos de solo, cobertura vegetal e os aspectos geológicos e geomorfológicos da região. Com base nesta caracterização foi determinado o número CN ou *Curve-Number*, através do Método *Curve-Number* do *Soil Conservation Service - SCS*. Este método baseia-se no cálculo da chuva efetiva em função da altura total de chuva e do parâmetro que permite a estimativa da precipitação efetiva em função da altura total da chuva e do parâmetro de abstração CN. A determinação deste coeficiente depende das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: grupo hidrológico dos solos, uso do solo e do tratamento agrícola, condição da superfície subterrânea e condição de umidade antecedente. As duas últimas propriedades foram consideradas como do tipo condições de umidade antecedente normal, com base no grupo de solo hidrológico predominante na região, que é do tipo D (argilas expansivas e solos rasos, com baixa capacidade de infiltração).



Com base no tipo de solo hidrológico predominante na área da bacia hidrográfica e no uso atual do solo vigente foi determinado o parâmetro CN, a ser adotado no cálculo da precipitação efetiva, ponderando-se estas informações, conforme apresentado no Quadro 3.5, foi obtido um CN igual a 82.

Posteriormente foi efetuada a caracterização do regime pluviométrico a nível mensal e anual, tendo como base às informações da estação meteorológica de Morada Nova e do posto pluviométrico do Açude Ema, 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 Riacho da Serra não dispor de estação fluviométrica em seu território, utilizou-se a série estudada para este reservatório no Plano de Gestão das Águas do Rio Jaguaribe elaborado pela Engesoft para a COGERH. O referido plano estudou as séries de vazões no rio Jaguaribe e em todas as suas sub-bacias, inclusive a bacia do riacho da Serra. Seguindo o procedimento adotado no referido plano, foram obtidas informações de deflúvio correspondentes ao período 1913/1996. O resultado da série de observações produziu um volume médio afluente anual de $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$, com desvio padrão de 0,81 e coeficiente de variação de 0,99.

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.

**Quadro 3.5 – Determinação do Número CN**

Uso do Solo	Permeabilidade (m ²)	Ponderação CN	
	D	CN	Peso
Plantações regulares em fileiras retas	1.366.200	88	0,01
Florestas normais	40.649.400	76	0,24
Florestas Esparsas	115.759.800	84	0,69
Estradas de terra de superfície dura	17.100	92	0,00
Pastagens ou terrenos em más condições	11.101.500	89	0,07
CN Geral		82	

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Barragem Riacho da Serra. Volume I- Estudos Básicos. Tomo 2 A – Hidrologia - Textos. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. 76 p.

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



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.

Para o tempo de concentração da bacia foi adotada uma chuva de duração igual a 12 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 Riacho da Serra foi estimado em 82, de acordo com a avaliação do tipo de solo e do uso da bacia realizada visualmente. A largura do sangradouro da barragem foi definida não em função de condições hidráulicas, mas em função da utilização da rocha escavada no sangradouro no corpo da barragem. Desta forma a largura foi definida como aquela que proporcionaria uma escavação de tal monta que todo o material escavado fosse aproveitado na barragem. Foram simuladas condições de operação para as cotas de sangria de 86 m, 88 m, 89 m e 90 m. A largura do sangradouro adotada foi de 120 m. 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 3.6.

Quadro 3.6 – Vazões e Lâminas de Sangria

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

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Barragem Riacho da Serra. Volume I- Estudos Básicos. Tomo 2 A – Hidrologia - Textos. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. 76 p.



Para o dimensionamento do reservatório foi utilizada a série de vazões obtidas do Plano de Gestão das Águas do Rio Jaguaribe 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 3.7.

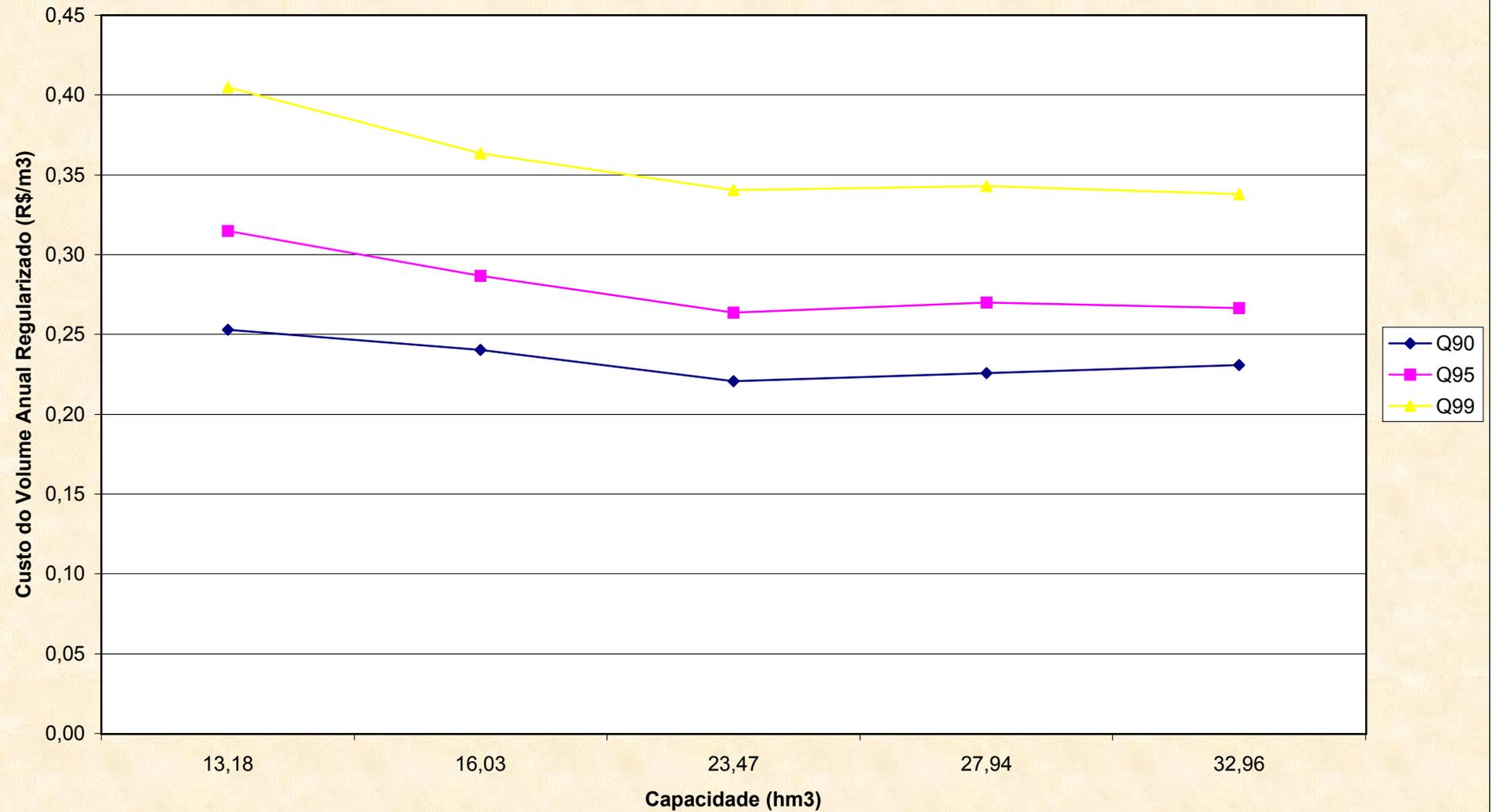
A determinação do tamanho do reservatório teve como base o custo mínimo do volume regularizado. Foram estimados os custos da barragem para cada cota de sangria, sendo elaborada a curva de custo do m³ regularizado anual associado ao volume armazenado (Figura 3.3). Com base nos estudos efetuados chega-se a conclusão que o volume máximo de 23,47 hm³ (cota 88 m) 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 459 m³/s e 1,99 m, enquanto que para o período de 10.000 anos esses valores são de 721 m³/s e 2,60 m. As vazões regularizadas para o volume de 23,47hm³ são de 370 l/s para garantia de 90%, 310 l/s para garantia de 95% e de 240 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. Complexo Caicó, cujos litotipos petrográficos são constituídos por gnaisses e migmatitos. Os tipos gnáissicos estão principalmente representados por biotita- gnaisses, biotita-hornblenda-gnaisses bandados com intercalações de metarcóseos e anfibolitos, com feições planares bem desenvolvidos, muitas vezes migmatizados e feldspatizados. São comuns os migmatitos homogeneizados de estruturas difusas com núcleos de nebulitos e anatexitos. A foliação destas rochas apresenta direção preferencial segundo NE-SW, entretanto devido ao estilo de dobramento bastante variável, acarretando mudanças constantes de atitudes, em alguns locais, fica difícil a identificação de um tipo padrão.

Figura 3.3 - Curva de Custo do Volume Regularizado





Quadro 3.7 – Estudo Incremental de Capacidade do Açude (HEC - 3)

GARANTIA (%)	V= 13,18 hm ³		V= 16,03 hm ³		V= 23,47 hm ³		V= 27,94 hm ³		V= 32,96 hm ³	
	Q (l/s)	FALHAS								
90	280	100	310	101	370	101	395	99	410	101
95	225	50	260	53	310	50	330	47	355	55
99	175	7	205	11	240	6	260	9	280	12

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Barragem Riacho da Serra. Volume I- Estudos Básicos. Tomo 2 A – Hidrologia - Textos. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. 76 p.



Com menor representatividade aparecem no domínio do embasamento cristalino, rochas plutônicas granulares (granitóides, gabróides e sienitos) e diques ácidos (rochas filoneanas ácidas e hiperácidas), estes últimos preenchendo fraturas e recortando as rochas das unidades supracitadas. No domínio do embasamento sedimentar aparecem os arenitos sítico-argilosos do Grupo Barreiras, diques de diabásio e microsienogabro do Vulcanismo Cabugi e os Aluviões, estes últimos apresentando maior expressão geográfica apenas ao longo da região de baixo curso do rio Figueiredo e do riacho da Serra.

O elemento estrutural marcante na região onde será implantada a Barragem do Riacho da Serra é a Falha do Jaguaribe, de movimento transcorrente, que apresenta uma direção NE-SW e rejeito destrógiro, distando cerca de 5,0 à NW do eixo da barragem. Esta feição é responsável pela estruturação da região, que se reflete em sucessivos dobramentos antiformes e sinformes, cujo estilo depende mais do grau metamórfico das rochas do que mesmo de sua natureza minereológica. A existência dos diques formados por efusões de rochas básicas que caracterizam o Vulcanismo Cabugi está relacionada a um extenso falhamento transversal à estrutura regional. Esses diques podem algumas vezes atingir extensões em torno de 20 km.

Em escala local, a litologia predominante é formada por rochas cristalinas, classificadas no Complexo Caicó, muitas vezes recortadas por veios de quartzo e pegmatitos que formam os diques ácidos filoneanos. Observa-se o predomínio das rochas gnáissicas migmatíticas, muitas vezes homogeneizadas e outras nebulíticas e/ou anatexíticas, exibindo uma granulometria equigranular, com estrutura granítica.

Os migmatitos com estruturas planares bem desenvolvidas possuem geralmente uma textura grosseira, cor cinza, exibindo muitos dobramentos, dificultando sobremaneira a definição correta, a nível localizado, da atitude da foliação, onde há o domínio dessas rochas. Nestes migmatitos, são comuns a presença de veios de quartzo, pegmatitos e veios graníticos preenchendo fraturas multidirecionais.



Os migmatitos com estruturas homogeneizadas são geralmente de cor cinza-clara, textura média a grossa, e constituídos essencialmente por quartzo, feldspato e biotita. A penetração de mobilizados ácidos ao longo de fraturas, associadas a pequenos deslocamentos, acarreta a presença de *drag-folds*.

Os depósitos aluvionares constatados ao longo do riacho da Serra formam extensos terraços de topografia plana, chegando a atingir, entre as estacas 13 e 21, cerca de 160 m de extensão com espessura máxima de 10,7 m, constituídos de solo com granulometria fina, de composição silto-arenosa.

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 Jaguaribe.

O alinhamento do eixo da barragem se dá mais ou menos segundo NW-SE, não apresentando ao longo do seu traçado nenhuma estrutura de cunho relevante. O eixo do barramento fica posicionado no flanco leste da anticlinal mapeada onde a foliação dominante das rochas que ocorrem na área é orientada segundo NE-SW. Na área situada além da ombreira direita tem-se um extenso fraturamento se desenvolvendo principalmente para montante concordantemente com a foliação. Com base no Diagrama de Roseta, elaborado a partir da medição de 248 direções de fraturas, constata-se que a direção preferencial média se dá segundo N60°Az a N70°Az, representando um percentual de 15,32% do total medido e entre N80°Az a N90°Az, representando 14,91%. O mergulho se dá preferencialmente na sub-vertical, variando ainda entre 60° a 80° para E.

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 Riacho da Serra, 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 19 sondagens à percussão (SP-1 a SP-19) e 6 sondagens mistas (SM-10 a SM-15) distribuídas ao longo do eixo do barramento, perfazendo um total de 60,85 m perfurados nas sondagens percussivas e 96,65 m nas mistas, sendo 20,95 m através de processo percussivo e 75,70 m por processo rotativo. O Quadro 3.8 mostra os dados técnicos das sondagens, enquanto que o Desenho 03 no Encarte apresenta o perfil geológico/geotécnico do eixo.

Foram efetuados, também, nas sondagens percussivas SP-02, SP-03, SP-04, SP-12, SP-13, SP-16 e SP-17 e nas sondagens mistas, trecho em solo, SM-11, SM-12 e SM-13 ensaios de infiltração de carga variável (Lefranc), para determinação do coeficiente de permeabilidade “in situ” do substrato terroso. 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 3.9.

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 nove sondagens mistas (SM-01 a SM-09) entre as estacas 6 e 13, tendo-se verificado que o substrato rochoso apresenta até 3,0 m de profundidade um intemperismo mais acentuado, com um grau elevado de fraturamento, mostrando menores índices de recuperação de testemunhos e baixos valores de recuperação modificada RQD. O Quadro 3.10 apresenta os resultados das investigações geotécnicas efetuadas no local do sangradouro.

**Quadro 3.8 - Dados Gerais das Sondagens Realizadas no Eixo do Barramento**

Sondagem	Estaca	Cota (m)	Extensão Sondada (1)	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
SP-1	9 (30 m para jusante)	84,275	Rocha	-	-
SP-2	13+10 (30 m para jusante)	74,547	4,38	4	Fofa
SP-3	16 + 10 (30 m para jusante)	74,295	10,05	2	Muito mole
SP-4	21 (30 m para jusante)	74,994	1,30	14	Rija
SP-5	23 + 10	77,712	0,60	62/25	Muito compacta
SP-6	27 (30 m para jusante)	75,060	3,23	4	Fofa
SP-7	33 (30 m para jusante)	80,721	0,53	38/18	Dura
SP-8	38 (Eixo)	85,005	1,05	42	Compacta
SP-9	43 (Eixo)	86,705	0,37	45/17	Muito compacta
SP-10	49 + 10 (Eixo)	83,818	0,38	57/21	Muito compacta
SP-11	9 (30 m para jusante)	81,150	Rocha aflorante	-	-
SP-12	13+ 10 (30 m para montante)	73,302	4,45	2	Fofa
SP-13	16 + 10 (30 m para montante)	74,841	10,88	5	Média
SP-14	21 (30 m para montante)	77,595	0,45	59/25	Muito compacta
SP-15	27 (30 m para montante)	75,662	0,33	36/13	Muito compacta
SP-16	33 (30 m para montante)	79,090	1,20	33	Dura
SP-17	19 (Eixo)	74,920	4,70	4	Fofa
SP-18	15 (Eixo)	74,742	8,06	4	Fofa



Continuação Quadro 3.8

Sondagem	Estaca	Cota (m)	Extensão Sondada (1)	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima (1)
SP-19	17 + 10 (Eixo)	74,953	8,89	4	Fofa
SM-10	9 + 2	81,563	0,40/12,11	-	Gnaiss c/ veios pegmatitos, muito dura, gran fina, maciça
SM-11	13 + 10	74,648	4,50/13,04	12	Gnaiss muito dura, gran fina, maciça
SM-12	16 + 10	74,374	10,70/16,30	5	Gnaiss muito dura, gran fina, maciça
SM-13	21	74,994	2,00/7,55	33	Gnaiss muito dura, gran fina, maciça
SM-14	27	75,279	1,85/15,40	9	Gnaiss muito dura, gran fina, foliada/macica
SM-15	33	80,841	1,50/11,30	32	Gnaiss muito dura, gran fina, foliada/macica

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Barragem Riacho da Serra. Volume I- Estudos Básicos. Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Textos. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. 50 p.

(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 3.9 - Ensaios de Campo no Eixo do Barramento**

N°	Estaca	Extensão Sondada	N° de Ensaios Lefranc	N° de Ensaios Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d'Água Específica Registrada (1)	Profundidade de Máxima Permeab. / Perda d'Água
SP-02	13 + 10 (30 m para jusante)	4,38	3	-	3,8x10E-4	-	3,60
SP-03	16 + 10 (30 m para jusante)	10,05	6	-	6,7x10E-3	-	5,00
SP-04	21 (30m para jusante)	1,30	1	-	1,9x10E-4	-	1,00
SP-12	13 + 10 (30 m para montante)	4,45	4	-	1,8x10E-2	-	1,00
SP-13	16 + 10 (30 m para montante)	10,88	7	-	2,0x10E-3	-	2,00
SP-16	33 (30m para montante)	1,20	1	-	Não absorveu	-	-
SP-17	19 (Eixo)	4,70	3	-	6,9x10E-4	-	2,00



Continuação Quadro 3.9

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-10	9 + 2 (Eixo)	12,51	-	4	-	0,73	/4,00 a 7,00
SM-11	13+ 10 (Eixo)	17,54	2	4	1,8x10E-2	2,88	2,00 / 7,84 a 10,84
SM-12	16+ 10 (Eixo)	27,00	2	5	1,9x10E-4	1,46	/5,00 /11,73 a 14,73
SM-13	21 (Eixo)	9,55	1	2	Não absorveu	1,77	/5,50 a 8,50
SM-14	27(Eixo)	17,25	-	5	-	0,56	/11,25 a 14,25
SM-15	33 (Eixo)	12,80	-	4	-	0,09	/8,00 a 11,00

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Barragem Riacho da Serra. Volume I- Estudos Básicos. Tomo 4 – Geologia e Geotecnia - Textos. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. 50 p.

(1) Perda d'Água em l/min/m/atm.



Quadro 3.10 - Investigações Geotécnicas Realizadas nas Alternativas de Sangradouro

Nº	Estaca	Cota (m)	Extensão (m) Percus/Rotat.	Rocha Predominante	Grau de Intemperismo
SM-01	6 (30m para jusante)	89,744	8,00/6,00	Gnaiss mod. duro, gran fino, foliado	Ligeiramente intemperizado
SM-02	6 (Eixo)	88,776	1,60/6,10	Gnaiss mod. duro, gran fino, foliado c/ veios de pegmatitos	Medianamente intemperizado
SM-03	6 (30m para montante)	87,956	0,65/7,35	Gnaiss macio a mod. duro e pegmatito duro maciço	Ligeiramente intemperizado
SM-04	9 (30m para jusante)	84,274	1,05/8,15	Gnaiss duro, gran fino, foliado a maciço	Ligeiramente intemperizado
SM-05	9 (Eixo)	81,644	2,45/9,05	Gnaiss mod. a muito duro e pegmatito duro maciço	Medianamente intemperizado
SM-06	9 (30m para montante)	81,149	0,50/9,50	Gnaiss mod. duro, gran fino, maciço	Medianamente intemperizado
SM-07	13 (30m para jusante)	76,666	0,80/8,30	Gnaiss mod. duro, gran fino, foliado	Medianamente intemperizado
SM-08	12 (Eixo)	77,791	1,07/7,93	Gnaiss muito duro, gran fino, maciço com veios de pegmatitos	Ligeiramente intemperizado
SM-09	12 (30m para montante)	76,138	1,10/8,00	Gnaiss duro, gran fino, maciço com veios de pegmatitos	Medianamente a ligeiramente intemperizado

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Barragem Riacho da Serra. Volume I- Estudos Básicos. Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Textos. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. 50 p.



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 quatro jazidas de material terroso (J-1 a J-4), um areal e uma pedreira. 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 que apenas 30,0% da área da jazida J-1 e toda a área do areal do riacho da Serra serão submersas com a formação do lago, enquanto que as jazidas J-2, J-03 e J-04, o areal do rio Figueiredo e a pedreira P-02 estão posicionadas fora da área da bacia hidráulica do futuro reservatório. A Pedreira P-01 está posicionada no local do sangradouro.

As jazidas de material terroso apresentam as características discriminadas no Quadro 3.11, tendo sido estudadas através de malhas quadráticas de sondagens a pá e picareta.

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 da Jazida J-01 por apresentarem um percentual significativo de fragmentos de rocha, em diversas dimensões e, de modo geral baixa plasticidade 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 das jazidas J-02, J-03 e J-04, por sua vez, apresentam características geotécnicas que favorecem o seu uso em zonas de restrições ao fluxo d'água, como núcleo impermeável e trincheira de



vedação. Entretanto, devido estas jazidas apresentarem uma maior distância de transporte deverão ser utilizadas apenas em zonas mais impermeáveis do maciço.

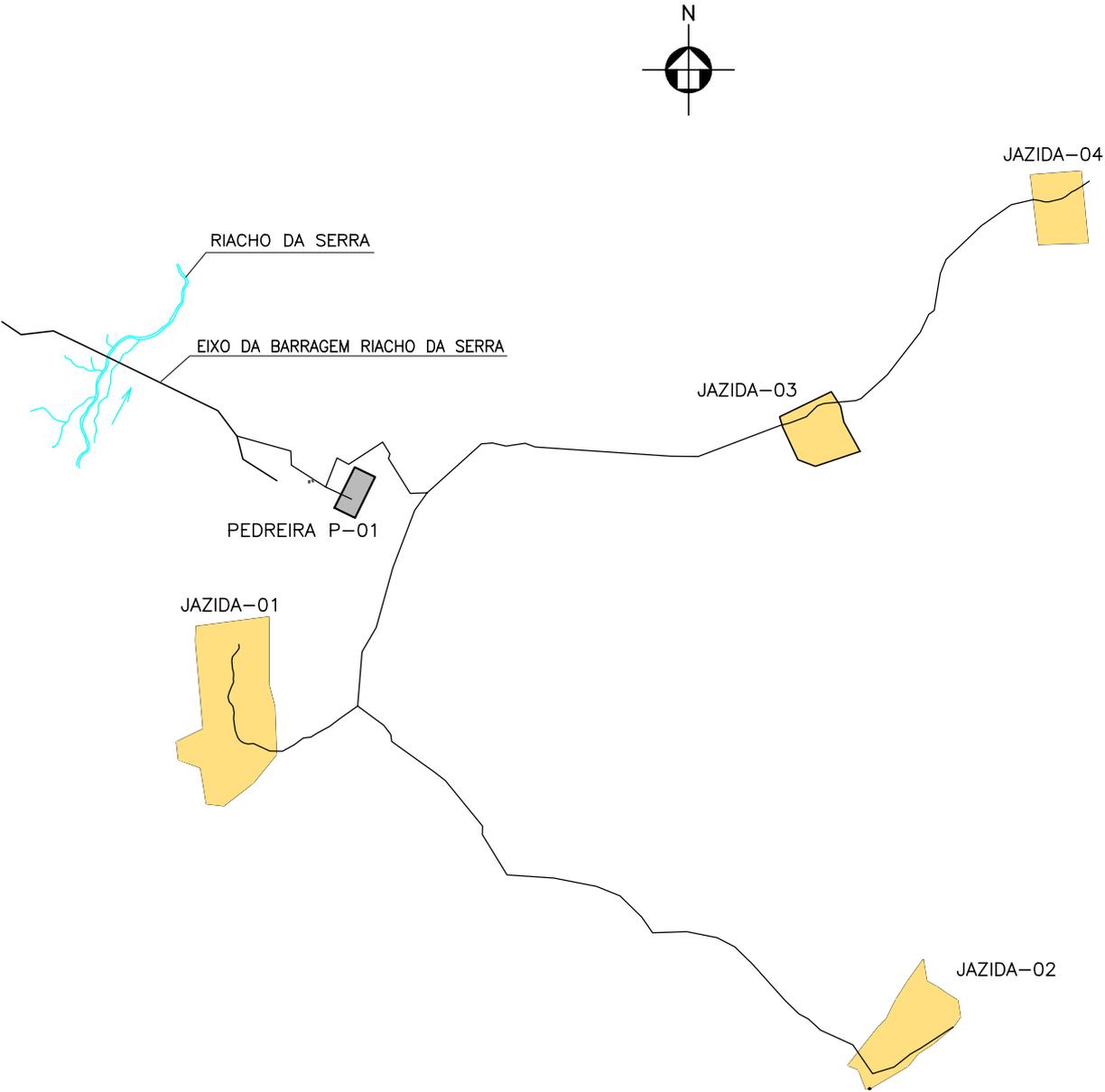
Quadro 3.11 - Características das Jazidas de Empréstimos

Discriminação	J-01	J-02	J-03	J-04
Área Utilizável (m ²)	245.696,00	116.403,00	69.305,00	67.664,00
Nº de Furos	164	59	35	35
Prof. Média dos Furos (m)	0,82	0,70	0,47	0,52
Camada Média Expurgo (m)	0,10	0,10	0,10	0,10
Espessura Média Útil (m)	0,72	0,60	0,37	0,42
Vol. Material Utilizável (m ³)	177.098,00	69.842,00	25.643,00	28.419,00
Classificação do Material (USC)	SC	SC	SC	SC
Distância ao eixo (km)	3,6	6,1	3,7	5,30

Fonte: SRH/Montgomery Watson-Engesoft, Barragem Riacho da Serra. Volume I - Estudos Básicos. Tomo 4 - Geologia e Geotecnia - Textos. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. 50 p.

O areal, localizado no leito do rio Figueiredo, 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 apresenta valor médio para o coeficiente de permeabilidade de $5,0 \times 10^{-3}$ cm/s. O depósito aluvionar de areia grossa que ocorre a pouca profundidade na calha do riacho da Serra, pode ser usado em substituição ao material do rio Figueiredo.

LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS
DE EMPRÉSTIMO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESCALA:	DATA:	FIGURA N° :
1:30.000	MAR./2003	3.4



O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção prioritária a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta características apropriadas para tais fins, sendo complementados com o material explorado na Pedreira P-1, situada a jusante da ombreira direita.

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. Na definição do posicionamento do sangradouro e da tomada d'água, foi levada em conta principalmente as características geotécnicas do terreno, tendo o vertedouro sido locado na ombreira esquerda do maciço. Desta forma, o conjunto das obras, cuja configuração pode ser visualizada no Desenho 04 do Encarte, consta basicamente de:

- Barragem de terra zoneada, com altura máxima de 18,71 m acima das fundações, com extensão pelo coroamento de 1.158,11 m, na cota 92,5;
- Sangradouro do tipo canal escavado em rocha, largura de 120,0 m, situado na ombreira esquerda do maciço;
- Tomada d'água composta de um tubo de aço 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

A barragem 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 18,71 m acima das fundações. O comprimento do maciço é de 1.158,11 m. A inclinação do talude de montante é de 1:2,5 em toda a sua extensão, enquanto que o talude de jusante terá uma inclinação de 1:2 até a cota 80, onde foi previsto o topo do *rock-fill*.

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 89,99 m, cota da cheia decamilar, entre as estacas 05 e 55. Para receber as águas do filtro vertical e do maciço rochoso da fundação foi previsto um tapete drenante com 1,0 m de espessura, constituído de areia. Integra, ainda, o sistema de drenagem interna um dreno de pé (*rock-fill*) no talude de jusante, formado por um enrocamento de brita com seção trapezoidal com 4,0 m de largura na crista, sendo 2,0 m em solo e 2,0 m em enrocamento, talude de jusante de 1:1,5 e talude de montante de 1:1. Entre as interfaces da base do terreno natural e do enrocamento com o maciço da barragem serão colocadas camadas de transição com 0,50 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 previsto o uso de material pétreo da seguinte forma: abaixo da cota 75 será colocada uma camada de brita "A" com 30 cm de espessura, entre as cotas 75 e 83 a camada de brita terá 50 cm de espessura e acima da cota 83 até o coroamento será colocado um *rip-rap* com 1,2 m de espessura. No *rip-rap* os 90 cm superficiais serão executados com pedras com granulometria semelhante a do material a ser empregado no enrocamento de pé, enquanto que os 30 cm restantes, que ficarão em contato com o paramento da barragem serão executados em brita "A". No talude de jusante foi prevista uma proteção superficial com camada de 0,30 m de brita de granulometria variada.



3.6.3 .Sangradouro

Com base nos estudos hidrológicos, geotécnicos e topográficos, ficou definida a localização do sangradouro na ombreira esquerda do maciço. A soleira do vertedouro encontra-se posicionada na cota 88,0 m, a qual corresponde a um armazenamento d'água de 23,47 hm³.

O sangradouro será um canal escavado em rocha, com cota de sangria de 88,0 m e largura de 120,0 m, projetado para evacuar uma cheia milenar de 459,0 m³/s, com lâmina máxima de 1,99 m. Não será necessário a execução de muros laterais, tendo em vista que na cota da soleira a escavação é em rocha. Apesar disso, devido a irregularidade das escavações, principalmente em rocha, foi previsto a execução de um cordão de concreto para fixação da cota da soleira.

3.6.4.Tomada d'Água

A tomada d'água será formada por uma tubulação de aço, envolvida em concreto armado, com diâmetro de 500 mm e comprimento de 90,0 m, e cujo eixo ficará situado na cota 75,5 m, cruzando o eixo da barragem na altura da estaca 12 + 10. A galeria foi dimensionada para uma vazão de 0,37 m³/s no nível mínimo de operação do reservatório. A montante da tubulação haverá uma caixa em concreto armado com grade de ferro e um crivo, e a jusante outra caixa de concreto armado 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.

3.6.5. 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 16 e tem 19,1 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 0,07g. Para as situações de final de construção e rebaixamento rápido o valor do coeficiente sísmico foi adotado igual.

Os parâmetros de resistência considerados para os materiais das jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04 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 3.12 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 3.13 e 3.14.

3.6.6. 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 igual a 9.

**Quadro 3.12 - Parâmetros Geotécnicos Adotados**

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

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

**Quadro 3.13 - Análise de Estabilidade Estática**

Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção (talude de montante)	1,30	1,974	1,676	1,686
Final de Construção (talude de jusante)	1,30	1,642	1,628	1,652
Reservatório Cheio (talude de jusante)	1,50	1,642	1,512	1,601
Desvazamento Rápido (talude de montante)	1,10	1,629	1,579	1,629

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

**Quadro 3.14 - Análise de Estabilidade Sísmica**

Simulação	C.S. Mínimo	Superfície de Deslizamento		
		Superficial	Intermediária	Profunda
Final de Construção (talude de montante)	1,0	1,465	1,314	1,407
Final de Construção (talude de jusante)	1,0	1,384	1,374	1,398
Reservatório Cheio (talude de jusante)	1,0	1,381	1,277	1,346
Esvaziamento Rápido (talude de montante)	1,0	1,363	1,342	1,394

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

A permeabilidade do maciço da barragem foi obtida a partir das análises dos ensaios de permeabilidade efetuados nos materiais das jazidas J-01 a J-04, cujos valores variaram de $1,0 \times 10^{-7}$ cm/s a $8,3 \times 10^{-7}$ cm/s. Foi adotada uma permeabilidade igual a $7,5 \times 10^{-7}$ cm/s para o maciço compactado da barragem e uma permeabilidade de 10^{-5} cm/s para o maciço rochoso da fundação.

Para os materiais que serão utilizados nos dispositivos de drenagem interna foi adotada uma permeabilidade de $5,0 \times 10^{-3}$ cm/s para a areia de rio. As vazões obtidas para os dispositivos de drenagem interna foram de $1,67 \times 10^{-7}$ m³/S/m para o maciço da barragem e de $4,86 \times 10^{-7}$ m³/S/m para a fundação.



3.6.7. 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:

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

Onde: S – Recalque total em m;

- σ_{mi} – Tensão vertical no meio de cada lamela, em kgf/cm²;
- ΔH_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 as jazidas J-03 e J-04, cujos materiais comporão o núcleo e a fundação da barragem, o peso específico aparente seco máximo obtido no ensaio de compactação foi de 1,859 tf/m³ e a umidade ótima correspondente é de 13,23%. O peso úmido será de 2,104 tf/m³. Com base no peso úmido foram adotadas para efeito de tensão confinante, as tensões apresentadas no Quadro 3.15, 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 3.15 - Tensão Confinante**

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

FONTE: SRH, Projeto Executivo da Barragem Riacho da Serra. 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 3.16. O recalque elástico esperado é de 212,46mm, devendo esse rebaixamento do coroamento ser corrigido antes da colocação do revestimento primário.

Quadro 3.16 - Módulo de Elasticidade

Tensão Confinante (kgf/cm ²)	Módulo de Elasticidade (kN/m ³)			
	J-02	J-03	J-04	Média
1,0	11.000	14.800	12.900	12.900
2,0	14.700	19.100	16.300	16.700
4,0	17.800	20.700	19.300	19.266

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

3.6.8. Instrumentação

O projeto de instrumentação visa a implementação de equipamentos que permitem monitorar as pressões neutras nas fundações e corpo da barragem, os



deslocamentos da barragem, o nível d'água no reservatório e no canal de saída do sangradouro.

Para verificação das pressões neutras na fundação e no corpo da barragem serão instalados piezômetros tipo Casagrande em três seções, sendo duas localizadas nas ombreiras (estacas 10 e 33), e a outra na parte central, na Estaca 13. Em cada seção serão colocados seis piezômetros.

A verificação do deslocamento da barragem será efetuada através da implantação de três marcos superficiais amarrados a marcos de referência para medidas de deslocamento horizontal e vertical. Os marcos superficiais serão colocados no coroamento da barragem nas estacas 15, 25 e 35. Os marcos fixos em número mínimo de três serão implantados em locais seguros e não deslocáveis e serão amarrados ao sistema de coordenadas da obra.

Para verificação do nível do reservatório serão instaladas três réguas limnimétricas no talude de montante, na Estaca 13. A primeira régua terá o zero na cota do porão, ou seja, na cota 48,0 m. No canal do sangradouro será instalada uma régua limnimétrica para medição da vazão de sangria.

3.6.9. Ficha Técnica

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

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA	
IDENTIFICAÇÃO	
Denominação:	Barragem Riacho da Serra
Estado:	Ceará
Município:	Iracema

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA**

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

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA**

Volume Afluente Máx. de Verificação (Tr=10.000 anos):	1071 m ³ /s
Vazão Máx. de Verificação Amortecida (TR=10.000 anos):	721 m ³ /s
Nível D'Água Max. Normal:	88,00 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=1.000 anos):	89,99 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=10.000 anos):	90,60 m
BARRAGEM PRINCIPAL	
Tipo:	Terra zoneada
Altura Máxima:	18,71 m
Largura do Coroamento:	6,0 m
Extensão pelo Coroamento:	1.158,11 m
Cota do Coroamento:	92,50 m
Volume de Escavação (Fundação):	64.178,20 m ³
Volume do Maciço (Espaldares e Núcleo):	368.351,80 m ³
Volume de Enrocamento (Rip-Rap e Rock-fill):	40.383,20 m ³
Volume de Transições:	10.872,80 m ³
Volume de Areia (Filtro e Transições):	32.538,29 m ³
Largura Máxima da Base:	91,00 m
Talude de Montante:	1,0 (v) : 2,5 (h)

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA**

Talude de Jusante:	1,0 (v) : 2,0 (h)
--------------------	-------------------

TOMADA D'ÁGUA

Tipo:	Tubo de Aço envolto em Concreto Armado
-------	--

Número de Conduitos:	1 (um)
----------------------	--------

Diâmetro:	500 mm
-----------	--------

Comprimento do Conduto:	93,75 m
-------------------------	---------

Cota da Geratriz Inferior a Montante:	75,25 m
---------------------------------------	---------

Cota da Geratriz Inferior a Jusante:	75,00 m
--------------------------------------	---------

Volume de Escavação	1034 m ³
---------------------	---------------------

Volume de Concreto Armado:	94,95 m ³
----------------------------	----------------------

Volume do Concreto de Regularização:	26,82 m ³
--------------------------------------	----------------------

Comprimento:	90,0 m
--------------	--------

Localização:	Ombreira Esquerda / Estaca 12+10
--------------	----------------------------------

SANGRADOURO

Tipo:	Canal Escavado em Rocha
-------	-------------------------

Largura:	120,00 m
----------	----------

Cota de Sangria :	88,00m
-------------------	--------

Extensão Total do Canal de Restituição:	1106,50 m
---	-----------

Vazão Máx. Prevista (TR=10.000 anos):	459 m ³ /s
---------------------------------------	-----------------------

**FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA**

Lâmina Máx. Prevista (TR=1.000 anos):	1,99 m
Lâmina Máx Prevista (TR=10.000 anos):	2,60 m
Borda Livre:	1,90 m
Volume de Escavação em solo	17.109,40 m ³
em rocha	23.724,80 m ³

3.6.10. Quantitativos e Custos do Projeto

As obras pertinentes à construção da Barragem Riacho da Serra foram orçadas em R\$ 8.065.091,37⁽¹⁾. O resumo com os valores das estruturas das obras, bem como o valor total, podem ser visualizados no Quadro 3.17.

Quadro 3.17 - Custo das Obras do Reservatório

Discriminação	Valor (R\$) ⁽¹⁾
Administração e Fiscalização	77.266,56
Serviços Preliminares	2.389.321,44
Barragem	4.616.323,24
Sangradouro	678.479,75
Tomada D'água	303.700,38
Total	8.065.091,37

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

(1) Valores expressos em reais pela planilha da SEINFRA (dez./2002).



3.6.11. Cronograma de Construção

O cronograma de construção das obras da Barragem Riacho da Serra foi elaborado com o objetivo de orientar a Empreiteira quanto à seqüência de execução de cada serviço, tendo sido previsto um prazo de 12 meses para a construção da barragem. O programa de construção proposto deverá seguir a seguinte seqüência:

- Período de janeiro/maio – escavação do sangradouro e do canal da tomada d'água;
- Período de junho/julho – conclusão do sangradouro, execução da tomada d'água e início do *cut-off* da barragem;
- Período de agosto a dezembro – conclusão do enchimento do *cut-off*, início e conclusão da barragem, execução do revestimento do coroamento, execução da drenagem superficial e execução da instrumentação.

3.6.12. Canteiro de Obras

A área destinada ao canteiro de obras está localizada na ombreira direita, a jusante do eixo do barramento. O acesso ao canteiro se fará através da estrada existente, a qual será submetida a melhorias para comportar o tráfego durante a execução das obras.

As instalações do canteiro de obras contará com as seguintes edificações: escritório da administração, laboratório de solo e concreto, depósito de cimento, central de britagem, posto de abastecimento de combustível, oficina mecânica, almoxarifado, carpintaria, ferraria, armação e moldagem, alojamento para pessoal de apoio, eletrificação e escritório de supervisão.



3.6.13. Projeto da Adutora de Alto Santo

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

No dimensionamento e definição da vazão de projeto foi considerada uma população beneficiada de 7.462 habitantes, tendo como horizonte o ano de 2023. A evolução das demandas e vazões de projeto são apresentadas no Quadro 3.18.

A captação deverá ser feita diretamente do lago formado pela futura Barragem Riacho da Serra, situada na localidade de Cacimba do Cunha, distando cerca de 12 km a montante de Alto Santo. A partir do barramento o caminhamento da adutora acompanhará uma estrada carroçável que se desenvolve tangenciando a área da bacia hidráulica da futura barragem, passando em seu trecho final a se desenvolver pela faixa de domínio da CE-138 (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 30 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.

A água será bombeada bruta até a ETA existente, sendo para tanto implantada uma linha adutora de água bruta de 10.000 m de extensão, com diâmetro de 150 mm. A vazão do sistema (máxima diária de final de ano) é de 17,72 l/s e a classe de pressão máxima dos tubos de 1Mpa

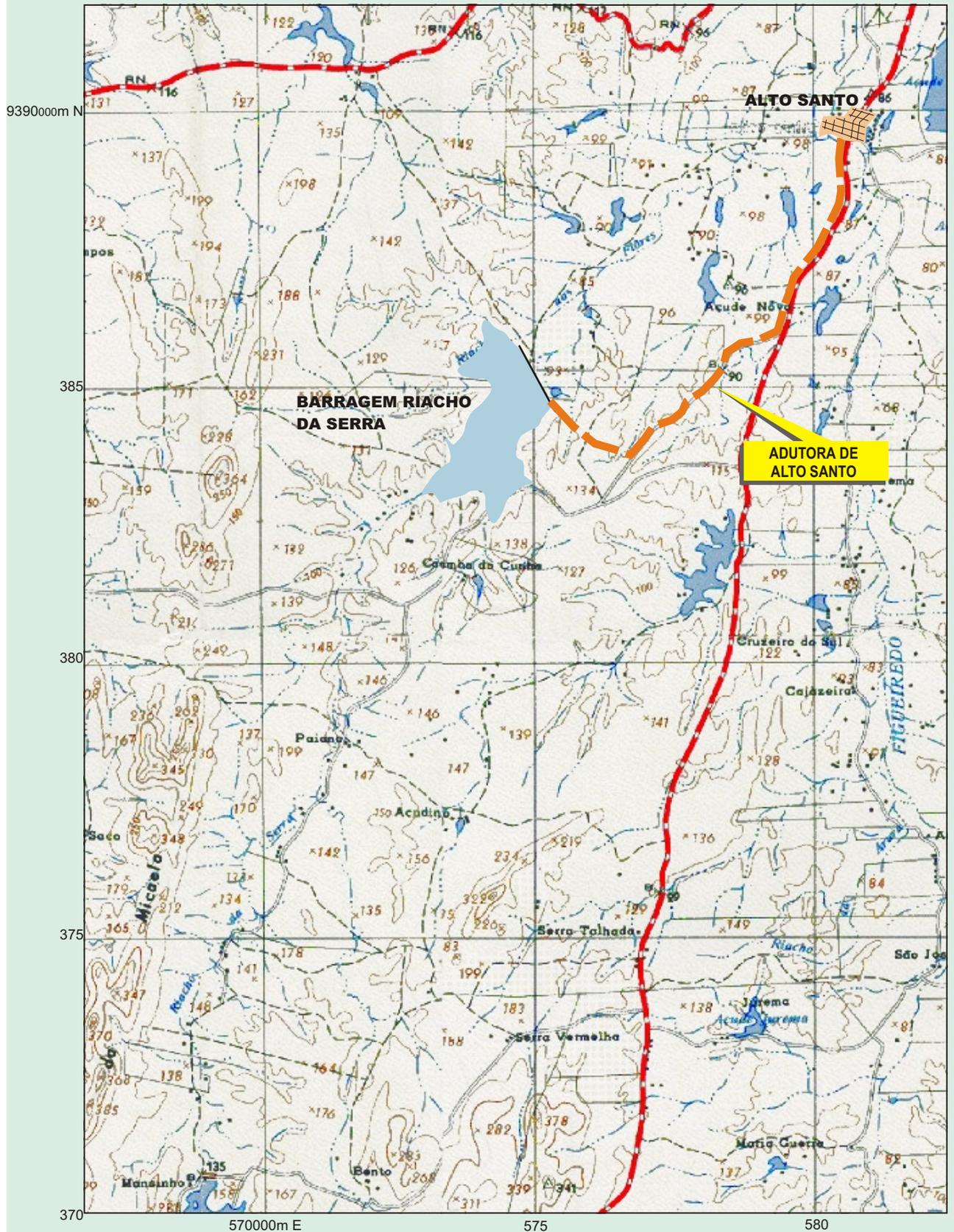
A estação de tratamento existente, que será aproveitada pelo atual projeto, é do tipo ETA compacta em fibra de vidro, sendo composta por um aerador de bandeja, dois filtros de fluxo ascendente em fibra de vidro, modelo CLARIFIBER II Série 250, com capacidade nominal de 32 a 48 m³/h cada, perfazendo uma capacidade de filtração de 96 m³/h. Não se faz necessário a instalação de mais unidades de filtração, uma vez que o sistema existente atende com bastante folga a vazão máxima diária para Alto Santo no ano 2023 que é de 17,72 l/s (63,79



m³/h). A estação elevatória de lavagem dos filtros conta com um grupo motobomba Meganorm bloc 100-200 Rotor 179, com motor de 12,5 Cv, tendo capacidade para ser reaproveitada pelo empreendimento ora em análise.

A estação elevatória de água tratada, por sua vez, não tem capacidade suficiente para atender o sistema razão pela qual deverá ser substituída, juntamente com todo o sistema elétrico de acionamento. As novas bombas terão as seguintes características: vazão de 63,79 m³/h, altura manométrica de 37 mca e potência de 15 Cv. A casa de química é composta por um laboratório, casa de cloração, almoxarifado e um banheiro.

FIGURA - 3.5
Localização da Adutora de Alto Santo



**Quadro 3.18 - Evolução da Demanda d'Água da Adutora de Alto Santo**

Anos do Projeto	Demanda (m³/ano)	Vazão Média (l/s)	Vazão do Dia de Maior Consumo (l/s)
2000	184.592,36	9,37	11,24
2005	203.804,88	10,34	12,41
2010	225.017,06	11,42	13,70
2020	274.294,54	13,92	16,70
2023	291.083,56	14,77	17,72

FONTE: SRH, Anteprojeto do Sistema Adutor Alto Santo. Fortaleza, Montgomery Watson/Engesoft, 2002. 2v.



Depois de filtrada e clorada a água será armazenada no reservatório com capacidade de 150 m³ existente. A partir daí a água será aduzida através da adutora de água tratada existente, com extensão de 2.850 m e diâmetro de 150 mm, até o reservatório elevado existente na cidade de Alto Santo (120 m³).

Complementando o sistema de reservação será construído mais um reservatório apoiado com capacidade de 250 m³, garantindo assim a reservação necessária para o final de plano (620 m³).

Será construída uma nova elevatória para bombear através da adutora de água tratada a ser construída, com extensão de 2.300 m e diâmetro de 100 mm, parte da vazão para o reservatório elevado de 100 m³, construído pela Prefeitura e que encontra-se atualmente desativado, que abastecerá futuramente o bairro de Pão de Açúcar.

Sistema de poços que integra o atual sistema em operação na cidade de Alto Santo será desativado. O croqui do sistema proposto pode ser visualizado na Figura 3.6.

As características técnicas do Sistema Adutor de Alto Santo são as seguintes:

- Manancial: Barragem Riacho da Serra;
- População beneficiada no ano 2023: 7.462 hab;
- Tipo de Captação: bombas submersíveis em flutuante;
- Número de Bombas da Captação: 1+1 de reserva;
- Potência das Bombas da Captação: 30,0 Cv;
- Potência da Subestação Elétrica: 75,0 Kva;
- Adutora de Água Bruta (extensão): 10.000 m;
- Adutora de Água Bruta (diâmetro): 150 mm;

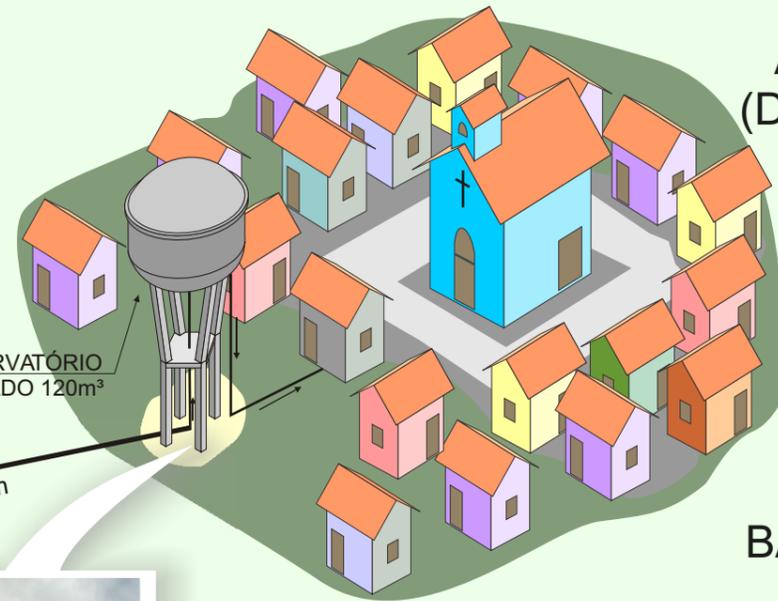
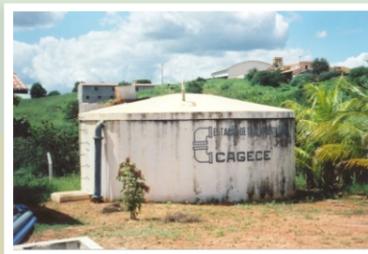


- Adutora de Água Bruta (vazão do sistema – máxima diária de final de 1 ano): 17,72 l/s;
- Adutora de Água Bruta (classe pressão máxima dos tubos): 1 Mpa;
- Adutora de Água Tratada (extensão): 2.300 m;
- Adutora de Água Tratada (diâmetro): 100 mm;
- Adutora de Água Tratada (vazão do sistema – máxima diária de final de 1 ano): 3,2 l/s;
- Adutora de Água Tratada (classe pressão máxima dos tubos): 1 Mpa;
- Adutora de Água Tratada Existente (extensão): 2.850 m;
- Adutora de Água Tratada Existente (diâmetro): 150 mm;
- Tipo de Tratamento: ETA Compacta em fibra de vidro (existente);

Reservação: 1 reservatório elevado com 100 m³ (construído pela Prefeitura para atender o bairro Pão de Açúcar), 1 reservatório elevado com 120 m³ e um reservatório apoiado de 150 m³ (integrantes do sistema operado pela CAGECE em Alto Santo) e 1 reservatório apoiado com capacidade de 250 m³, perfazendo ao todo uma reservação de 620 m³.

3.7. PLANOS E PROGRAMAS CO-LOCALIZADOS

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.

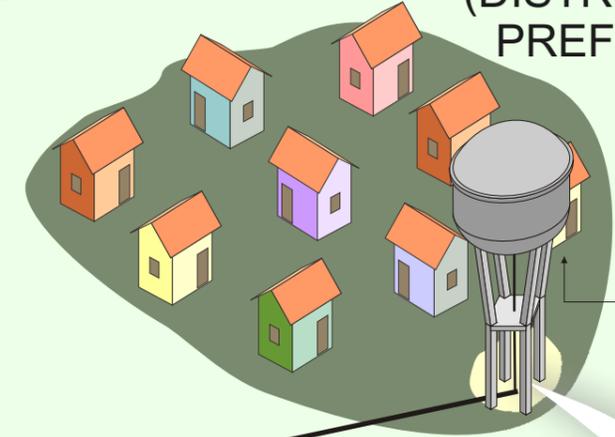


ALTO SANTO
(DISTRIBUIÇÃO)
CAGECE

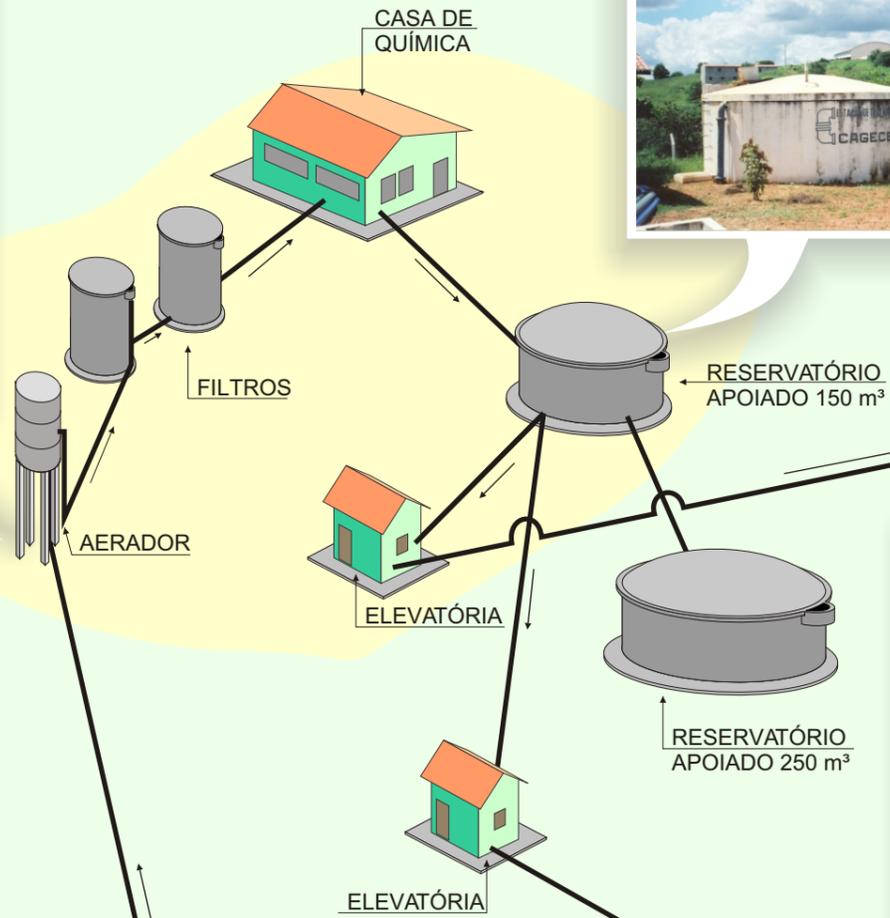
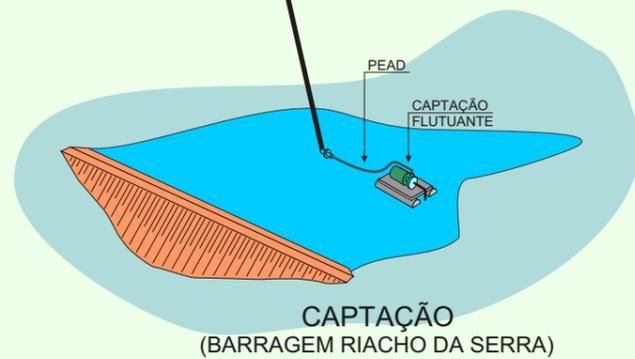
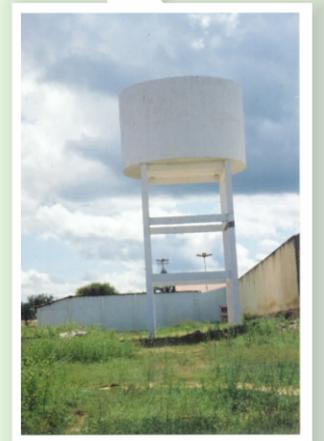
RESERVATÓRIO
ELEVADO 120m³

DN 150
L = 2.850m

BAIRRO PÃO DE AÇÚCAR
(DISTRIBUIÇÃO)
PREFEITURA



RESERVATÓRIO
ELEVADO 100m³



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ 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.		
PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA		
Projeto:	ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL SISTEMA DE ADUÇÃO DE ÁGUA PROPOSTO DA ADUTORA DE ALTO SANTO	Arquivo: —
Visto:		Data de Emissão: MARÇO/2003
Verificado:		Escala: SEM ESCALA
Aprova:		Nº da Figura: 3.6
 		



MONTGOMERY WATSON

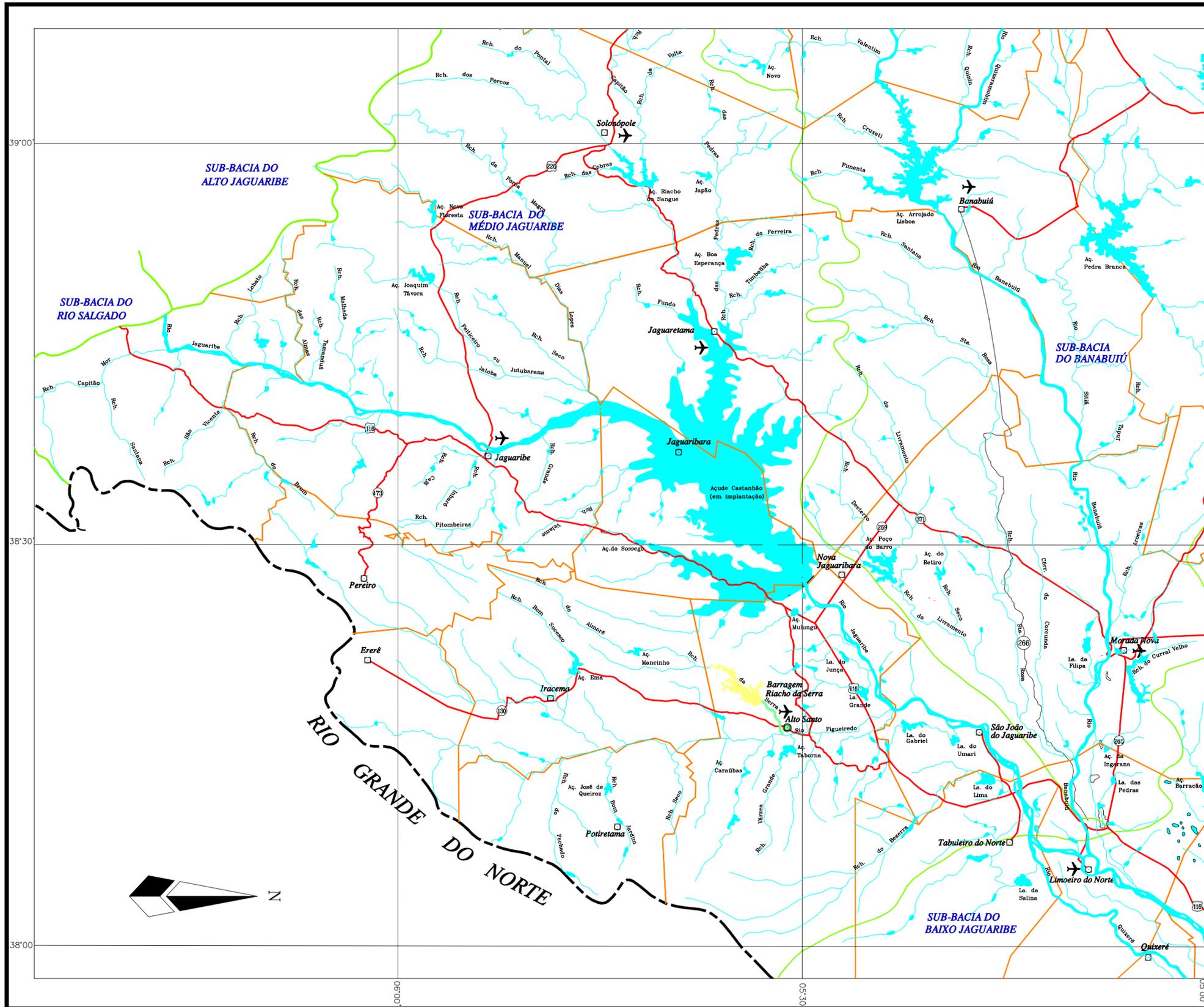


ENCARTE



Relação dos Desenhos

Número do Desenho	Discriminação
Des_01-04	Mapa de Localização e Acessos
Des_02-04	Mapa Planialtimétrico da Bacia Hidráulica
Des_03-04	Barragem - Perfil Longitudinal do Sub-Solo
Des_04-04	Arranjo Geral das Obras



CONVENÇÕES

- Limite das Sub-Bacias
- Limite Estadual
- Limite Municipal
- Rodovia Pavimentada
- Rodovia em Leito Natural
- Sede Municipal
- Açudes
- Lagoas
- Cursos d'Água (Rios e Riachos)
- Aerodromo
- Prefixo de Rodovia Federal
- Prefixo de Rodovia Estadual

LEGENDA

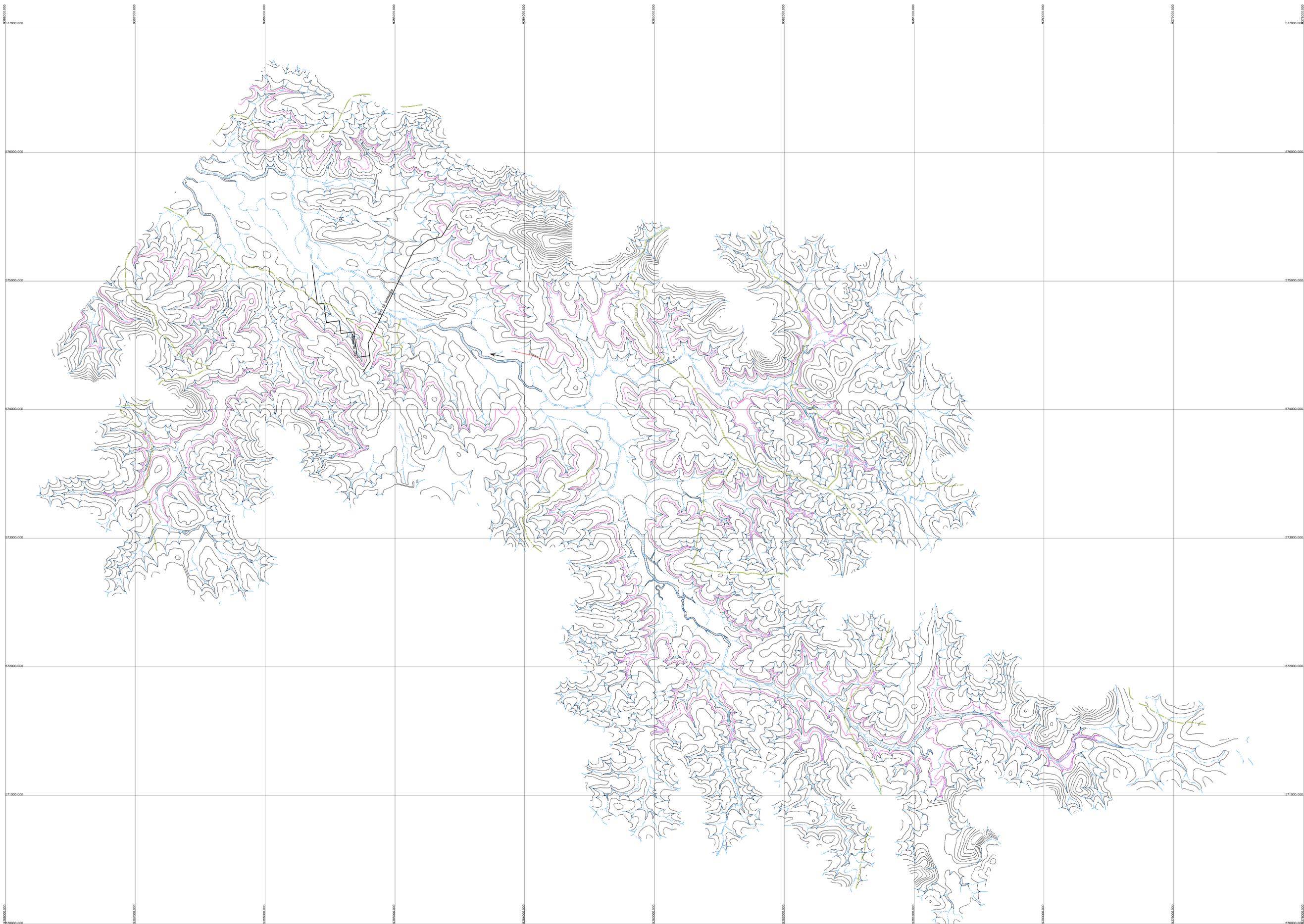
- Área de Influência Física
- Área de Influência Funcional

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 RIACHO DA SERRA

Projeto :	ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	Arquivo DES_01_10_MapaLocalizacao.dwg
Vista :		Data de Emissão : MARÇO/2003
Verificado :		Escala : 1:500.000
Aprova :		Nº do Desenho : DES_01-04

CONSORCÍO: MONTGOMERY WATSON Engesoft



- LEGENDA :
- CURSO D'ÁGUA INTERMITENTE
 - CURVA DE NIVEL
 - ESTRADAS
 - LINHA DE ALTA TENSÃO E TELEFONE
 - CURVA DE NIVEL 88

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

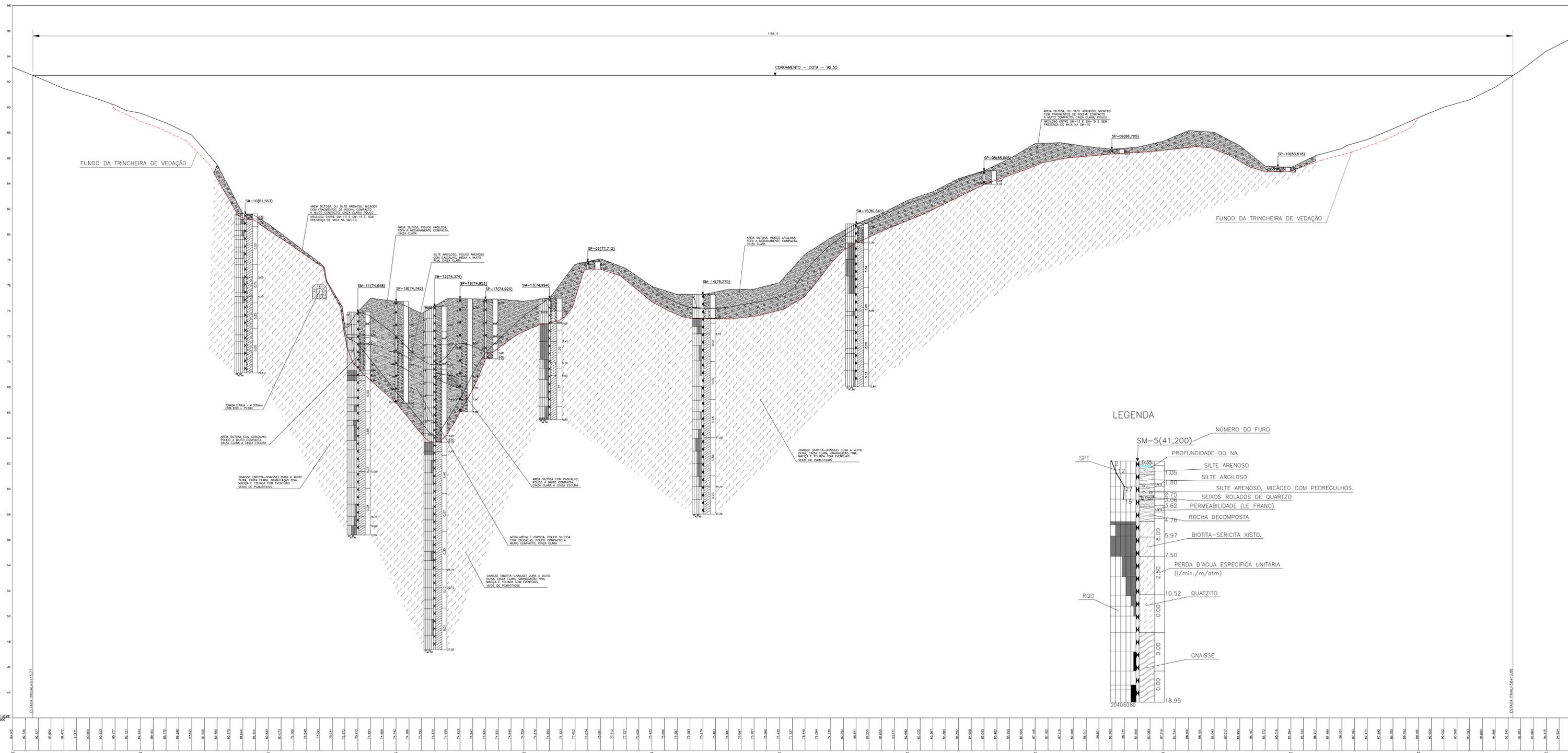
REVISÕES			
Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH

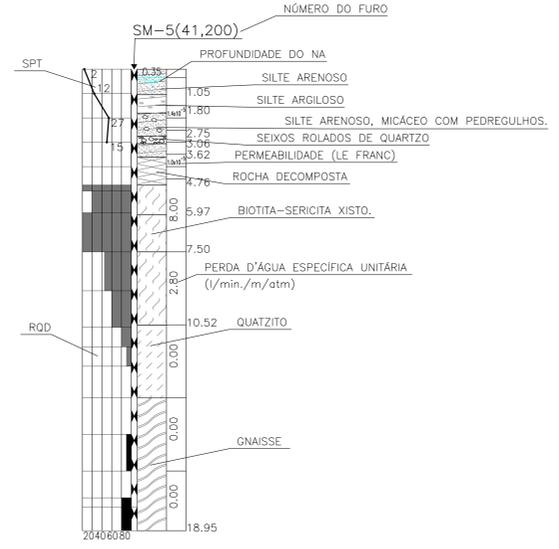
PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADALENA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA

Projeto :	ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL	Revisor :	Des_02-04_Bacia Hidraulica
Visto :	MAPA PLANALIMÉTRICO DA BACIA HIDRÁULICA	Data de Emissão :	MAR/2013
Verificado :		Escala :	1:10000
Aprovado :		Nº do Desenho :	DES_02-04



LEGENDA



NOTAS :
 A) DURANTE A CONSTRUÇÃO DEVERÃO SER EXECUTADAS SONDAGENS PERCUSSIVAS COM ENSAIOS IN SITU DE INFILTRAÇÃO, NO DEPOSITO DE AREIA MEDIA A GROSSA, PARA AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE DESSE MATERIAL E VERIFICAÇÃO DA CONVENIENCIA DE USO COMO ELEMENTO FILTRANTE E DRENANTE.
 B) COM BASE NOS ENSAIOS QUE SERÃO REALIZADOS NO MATERIAL DA FUNDAÇÃO SERÁ DIMENSIONADO O SISTEMA DE REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO, PARA A ESCAVAÇÃO DA TRINCHEIRA DE VEDAÇÃO

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

REVISÕES			
Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
 SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH

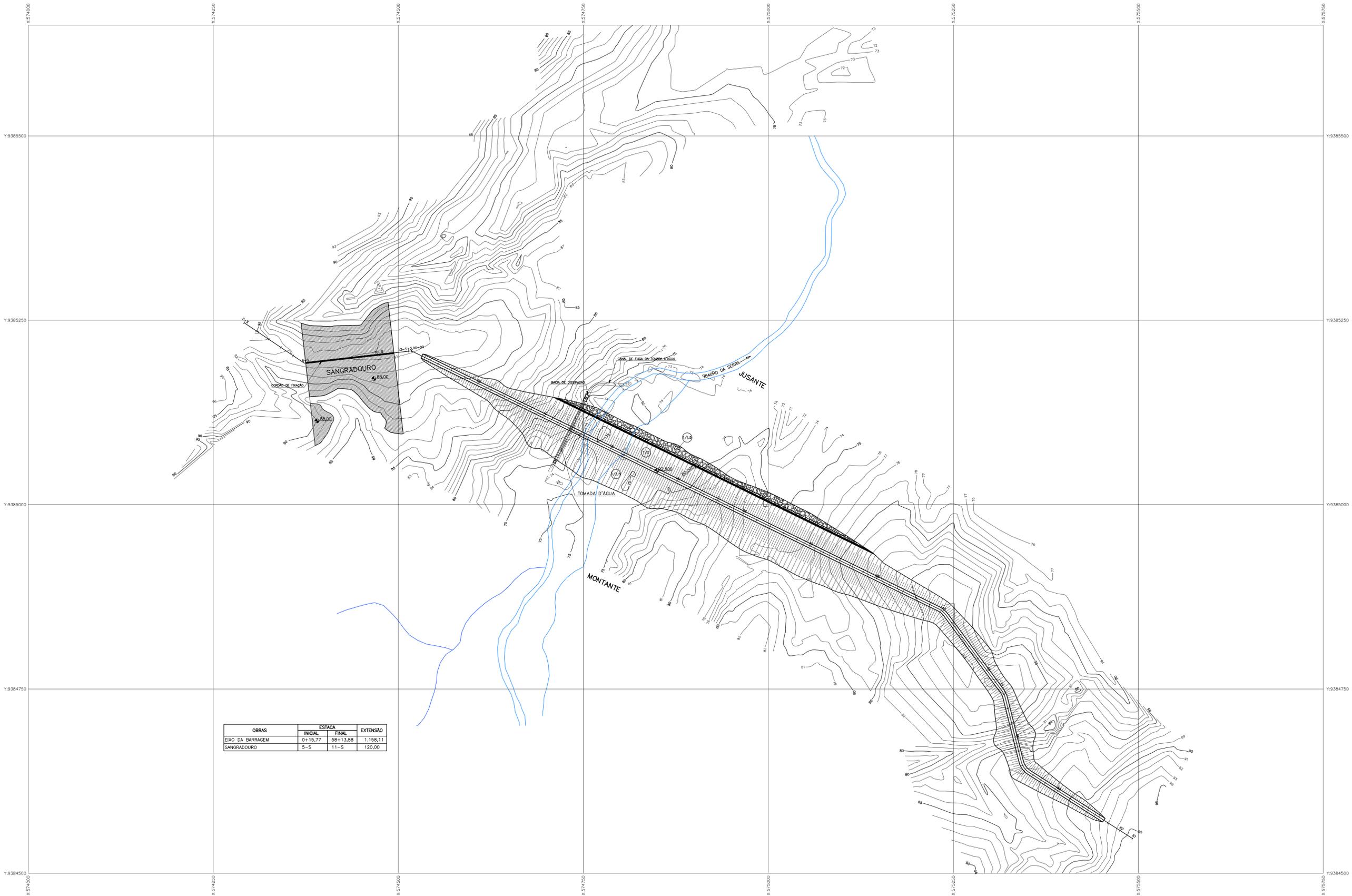
PROJETO EXECUTIVO DAS BARRAGENS JOÃO GUERRA, UMARI, RIACHO DA SERRA, CEARÁ E MISSI E DAS ADUTORAS DE MADEIRA, LAGOA DO MATO, ALTO SANTO E AMONTADA.

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL
 BARRAGEM – PERFIL LONGITUDINAL DO SUBSOLO

Projeto : []
 Autores : []
 Data : []
 Escala : 1:1000
 Data : []

MONTGOMERY WATSON



OBRAS	ESTACA		EXTENSÃO
	INICIAL	FINAL	
EIXO DA BARRAGEM	0+15,77	58+13,88	1.158,11
SANGRADOURO	S-S	11-S	120,00

NOTAS :

DESENHOS DE REFERÊNCIA :

N°	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	REVISÕES	
			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 DA BARRAGEM RIACHO DA SERRA

Projeto :	ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL ARRANJO GERAL DAS OBRAS	Arquivo :	Des_04-04_Arranjo_Geral.dwg
Visto :		Data de Emissão :	MARÇO/2003
Verificado :		ESCALA :	1:2500
Aprova :		Nº do Desenho :	DES_04-04

CONSORCIO:

Consórcio



MONTGOMERY WATSON

