



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Procuradoria Geral do Estado

**BANCO INTERNACIONAL PARA RECONSTRUÇÃO
E DESENVOLVIMENTO - BIRD (BANCO MUNDIAL)**

**Ministério da Integração Nacional - MI
Programa Nacional de Desenvolvimento
dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL -
Acordo de Empréstimo N.º.: 7420-BR - BID**

**Governo do Estado do Ceará
Projeto de Gestão Integrada dos
Recursos Hídricos PROGERIRH II
Acordo de Empréstimo N.º.: 7630-BR**

**ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO
DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS
BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA
PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH.**

**ETAPA B3 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM LONTRAS
VOLUME 1 - ESTUDOS BÁSICOS**

Tomo 1 - Relatório Geral



Integração
Ministério da Integração Nacional



**SECRETARIA DOS
RECURSOS HÍDRICOS**
Governo do Estado do Ceará



**PROÁGUA
NACIONAL**



**BANCO
MUNDIAL**



EngeSoft
Engenharia e Consultoria Ltda.



Yibi
ENGENHARIA
CONSULTIVA S/S.

consórcio

Revisão : Dezembro/2012

Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo do Eixo de Integração da Ibiapaba/Ce (Para Construção das Barragens Lontras e Inhuçu, do Canal/Túnel e da Penstock/Pequena Central Hidrelétrica - PCH)

Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Lontras

Volume 01 – ESTUDOS BÁSICOS

Tomo 1 - Relatório Geral

Revisão : Dezembro/2012

ÍNDICE

ÍNDICE

Páginas

ÍNDICE	2
APRESENTAÇÃO.....	10
1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....	14
2 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS	18
2.1 TRABALHOS CARTOGRÁFICOS.....	19
2.1.1 <i>Transporte de Cotas e de coordenadas.....</i>	<i>21</i>
2.2 LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA.....	28
2.2.1 <i>Aerotriangulação.....</i>	<i>29</i>
2.2.2 <i>Restituição Digital</i>	<i>30</i>
2.2.3 <i>Ortorretificação.....</i>	<i>31</i>
2.2.4 <i>Mosaicagem, processamento da imagem e corte das folhas</i>	<i>32</i>
2.2.5 <i>Edição Cartográfica</i>	<i>33</i>
2.3 LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL	34
2.3.1 <i>Locação dos eixos e Implantação de Marcos</i>	<i>34</i>
2.3.2 <i>Nivelamento.....</i>	<i>35</i>
2.3.3 <i>Levantamento de Seções Transversais</i>	<i>35</i>
2.4 LEVANTAMENTO DO CANAL DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO	35
2.4.1 <i>Locação.....</i>	<i>36</i>
2.4.2 <i>Nivelamento e Seções Transversais.....</i>	<i>36</i>
2.5 LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS NATURAIS	36
2.5.1 <i>Jazidas de Solos.....</i>	<i>36</i>
2.5.2 <i>Areal.....</i>	<i>37</i>
2.5.3 <i>Pedreiras.....</i>	<i>38</i>
3 ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS	41
3.1 GEOLOGIA REGIONAL	42
3.2 GEOLOGIA LOCAL	43
3.3 INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO	45
3.3.1 <i>Sondagens realizadas.....</i>	<i>45</i>
3.3.2 <i>Investigação do Sangradouro</i>	<i>51</i>

3.3.3	Levantamento geofísico.....	53
3.3.4	Estudo dos Materiais Construtivos.....	67
3.4	AREAL.....	89
3.5	PEDREIRAS.....	90
4	ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	92
4.1	FICHA HIDROLÓGICA.....	93
4.2	COTA – ÁREA - VOLUME.....	94
4.3	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	95
4.4	CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA.....	97
4.5	ESTUDO DE CHUVAS INTENSAS.....	99
4.5.1	Metodologia para cálculo das chuvas intensas.....	99
4.6	ESTUDOS DE DEFLÚVIO.....	106
4.7	A CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DAS BARRGENS LONTRAS E INHUÇU.....	107
4.7.1	A simulação dos reservatórios utilizando o programa simres.....	107
4.7.2	As vazões regularizadas pelos reservatórios Lontras e Inhuçu.....	108
4.8	ESTUDO DE CHEIAS E DO VERTEDOURO.....	112
4.8.1	A chuva de projeto.....	113
4.8.2	As cheias máximas com $tr = 1.000$ e 10.000 anos afluentes e efluentes ao reservatório Lontras.....	114
5	ESTUDOS PEDOLOGICOS.....	116
5.1	INTRODUÇÃO.....	117
4.9	MÉTODOS DE TRABALHO.....	119
4.9.1	Trabalhos de Escritório.....	119
4.9.2	Métodos de trabalhos de campo.....	119
4.9.3	Trabalhos de Laboratório.....	120
4.10	CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO.....	122
4.10.1	Classificação Adotada.....	122
4.10.2	Definição Geral das Classes de Terra.....	123
4.10.3	Representação Cartográfica.....	127
4.11	ESPECIFICAÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO.....	128
4.12	CLASSES E SUBCLASSES DE TERRA PARA IRRIGAÇÃO NA ÁREA.....	129
4.13	DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE TERRAS PARA IRRIGAÇÃO.....	130
4.14	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	131
4.14.1	Conclusões:.....	131
4.14.2	Recomendações sobre o Aproveitamento Agrícola sob Irrigação da Área estudada:.....	133
5	CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS.....	135

ÍNDICE FIGURA

Páginas

Figura 1.1 – Mapa de localização (contexto estadual)	16
Figura 1.2 – Mapa de localização (contexto municipal).....	17
Figura 2.1 – Bacia hidrográfica – barragem Lontras	20
Figura 2.2 - Ponto de apoio suplementar GCP-07	24
Figura 2.3 - Ponto de apoio suplementar GCP-09	24
Figura 2.4 - Variação das ondulações do geóide em SIRGAS2000 (Fonte IBGE, 2010)	26
Figura 2.5 - Distribuição do Erro Padrão obtido a partir da comparação entre estações GPS e RN's (Fonte IBGE, 2010).....	27
Figura 2.6 - Localização da área. Fonte: Google Earth.....	28
Figura 2.7 - Imagem contínua Ortofoto de uma área do projeto.....	33
Figura 2.8 - Levantamento da barragem e sangradouro	40
Figura 3.1 - Uma extensa fossa tectônica afetou o embasamento cristalino e se refletiu também nos sedimentos devonianos da formação Serra Geral. A área de interesse aos empreendimentos, assinalada pela elipse, foi afetada pelo referido tectonismo (Mapa Geológico do CPRM - 2003).....	42
Figura 3.2 - Campanha de sondagens na Barragem	46
Figura 3.3 – Locação dos ensaios de eletrorresistiva e sísmica.....	55
Figura 3.4 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e afloramentos.	56
Figura 3.5 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e a cidade de Croatá - CE ao fundo na imagem.....	56
Figura 3.6 - Equipamento de aquisição de dados geoeletricos SYSCAL PRO de 48 canais conectado aos cabos multieletrodos e à bateria.....	57
Figura 3.7 - Instalação do eletrodo de “Papel alumínio” visando melhorar o acoplamento galvânico com o solo.	57
Figura 3.8 - Detalhe do eletrodo de “Papel alumínio” conectado ao cabo multieletrodo.....	58

Figura 3.9 - Detalhes de blocos de rochas aflorante.....	58
Figura 3.10 - Membro da equipe estendendo o cabo sismográfico e acoplado os geofones.....	59
Figura 3.11 - Detalhe do cabo sismográfico e de um dos geofones instalados ao longo do alinhamento.....	59
Figura 3.12 - Equipamento sísmico (Geode – Geometrics Inc.) e técnico da Alta Resolução acompanhando a aquisição de dados.....	60
Figura 3.13 - Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Lontras	69
Figura 3.14 - Possível área-fonte de rocha para enrocamento.....	91
Figura 4.1 – Curva cota x área Volume	94
Figura 4.2 - Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará	96
Figura 4.3 - Hidrografia da bacia das barragens Inhuçu e Lontras	96
Figura 4.4 - Localização das estações climatológicas de Sobral e Crateús em relação à bacia hidrográfica do rio Inhuçu (retângulo em vermelho).....	97
Figura 4.5 - Isozonas de igual relação (Fonte: Torrico, 1975)	99
Figura 4.6 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia da barragem Inhuçu com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte.	103
Figura 4.7 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia da barragem Lontras com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte.....	104
Figura 4.8 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia da barragem Lontras (Área Livre a jusante da barragem Inhuçu) com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Croatá.	105
Figura 4.9 - Vazões Regularizadas pelas barragens Lontras e Inhuçu (e pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm ³).....	111
Figura 4.10 - Chuva balanceada de 14 horas para Tr=1.000 anos para Lontras	113
Figura 4.11 - C Chuva balanceada de 14 horas para Tr=10.000 anos para Lontras.....	114
Figura 0.1 - Exemplo da fração de Classe de Terra para Irrigação	127

ÍNDICE QUADRO

Páginas

Quadro 2.1 - Resumo das Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000 e Altitudes Ortométricas	23
Quadro 2.2 - resumo dos pontos de apoio suplementar.....	25
Quadro 2.3 - Resumo Cálculo da Altitude Ortométrica (N) do apoio Suplementar.....	27
Quadro 2.4 - Relação de Marcos no Eixo da Barragem	35
Quadro 2.5 - Estudo Topográfico das Jazidas	37
Quadro 2.6 - Levantamento planimétrico do Areal.....	37
Quadro 2.7 - Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 01	38
Quadro 2.8 – Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 02	39
Quadro 3.1 - Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Lontras Sondagem Mista – Zona do maciço da barragem.....	47
Quadro 3.2 - Investigação geotécnica no eixo da barragem Lontras - ensaios de infiltração do tipo Lefranc ...	48
Quadro 3.3 - Investigação geotécnica no eixo da barragem Lontras - ensaios de Lugeon	49
Quadro 3.4 - Investigação Geotécnica da Barragem Lontras- Sangradouro.....	52
Quadro 3.5 Ensaios de Perda D'água -Sangradouro	52
Quadro 3.6 - Seções Geoelétricas e Sísmicas efetivamente executadas e suas respectivas extensões (m). ...	54
Quadro 3.7 - Volume de Materiais das Jazidas	70
Quadro 3.8 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 02.....	86
Quadro 3.9 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 03A	86
Quadro 3.10-Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04.....	86
Quadro 3.11 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04A.....	87
Quadro 3.12 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 05.....	87
Quadro 3.13-Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 08.....	87

Quadro 3.14 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 09.....	87
Quadro 3.15 –Cisalhamento direto – Jazida 01	88
Quadro 3.16 –Cisalhamento direto – Jazida 02	88
Quadro 3.17 –Cisalhamento direto – Jazida 03	88
Quadro 3.18 –Cisalhamento direto – Jazida 03A.....	88
Quadro 3.19 –Cisalhamento direto – Jazida 08	89
Quadro 3.20 –Ensaio triaxial – Jazida 08	89
Quadro 3.21 - Valores Médios dos Ensaios do Areal Jatobá	89
Quadro 4.1 – Curva cota-área- volume	94
Quadro 4.2 - Características da bacia hidrográfica do rio Inhuçu nos Eixos barráveis.....	95
Quadro 4.3 - Características das Estações Climatológicas Sobral e Crateús	98
Quadro 4.4 - Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos Guaraciaba do Norte e Croatá	100
Quadro 4.5 - Precipitações máximas para $T_r = 1.000$ e 10.000 anos com duração de 24horas (em milímetros) nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte.....	100
Quadro 4.6 - Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte.....	101
Quadro 4.7 - - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km^2 e precipitação em milímetros) sobre a Bacia da Barragem Inhuçu (posto Guaraciaba do norte).....	102
Quadro 4.8 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km^2 e precipitação em milímetros) sobre a Bacia da Barragem Lontras (sem Barragem Inhuçu a montante) - posto Guaraciaba do Norte.....	102
Quadro 4.9 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km^2 e precipitação em milímetros) sobre a área livre Bacia da Barragem Lontras (Com Barragem Inhuçu a montante) - posto Croatá	102
Quadro 4.10 - Série Histórica de Vazões (m^3/s) no Posto Fluviométrico Croatá (Hidroweb – ANA).....	106

Quadro 4.11 - Capacidades adotadas nos cenários A, B e C (em hm ³)	108
Quadro 4.12 - Vazões Regularizadas pelas barragens Lontras e Inhuçu (e pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm ³)	109
Quadro 4.13 - Principais Características do reservatório Lontras.....	114
Quadro 4.14 - Vazões de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes para Tr = 1.000 e 10.000 anos, Lâmina sobre a soleira do vertedouro e nível de amortecimento da barragem Lontras, considerando a largura do vertedouro 80, 100 e 120m.	115
Quadro 0.1 : Especificações Para Determinação Das Classes De Solos Para Irrigação	128
Quadro 0.2 - Classes de terras para irrigação	129

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O objetivo geral da Política Estadual dos Recursos Hídricos do Ceará é promover o uso racional dos recursos hídricos e gerenciar os mesmos de uma maneira integrada e descentralizada. Neste contexto se insere o Eixo de Integração da Ibiapaba, o qual se constitui em um dos projetos empreendidos pelo Governo do Estado do Ceará para alcançar as metas de aproveitamento integrado dos recursos hídricos.

O Eixo de Integração da Ibiapaba, então concebido pelo PROGERIRH – Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos, está localizado na região noroeste semi-árida do Estado do Ceará. Neste sistema, estão compreendidas as Bacias dos Rios Acaraú, Coreaú e Poti, sendo que esta última se estende também ao Estado do Piauí, onde constitui uma parte da Bacia do Parnaíba. Diferencia-se por ser o primeiro sistema complexo deste tipo a ser estudado, sendo que nele se prevê a transferência de águas da Bacia do Rio Poti (Parnaíba) para as Bacias dos Rios Acaraú e Coreaú.

O documento aqui apresentado integra os serviços de consultoria para ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE (PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU DO CANAL/TÚNEL E PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH), objeto do contrato 02/PROGERIRH 2011 firmado entre o Consórcio ENGESOFT/IBI e a SRH/CE.

Referidos estudos visam promover o controle dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Inhuçu.

Conforme estabelecem os Termos de Referência contratuais, a finalidade principal com o desenvolvimento dos estudos contratados é aprofundar mais detalhadamente o atendimento às demandas de água das regiões de influências; proporcionar um aproveitamento racional das águas acumuladas nos reservatórios, para o abastecimento urbano e rural e para uso com o desenvolvimento da irrigação em áreas aptas a este tipo de atividade, e, para a geração de energia elétrica, caso se mostre viável.

O estudo é composto pelas seguintes Fases e Etapas:

FASE A: ESTUDO DE VIABILIDADE

- Etapa A1 - Relatório de Identificação de Obras - RIO

- Etapa A2 - Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA do Sistema (Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH)
- Etapa A3 - Estudos Básicos e Concepções Gerais dos Projetos das Barragens, Canal/Túnel e Penstock/PCH
- Etapa A4 - Relatório Final de Viabilidade - RFV.

FASE B: PROJETO EXECUTIVO

- Etapa B1 - Estudos de Impactos no Meio Ambiente EIA / RIMA
- Etapa B2 - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento das Barragens Lontras e Inhuçu.
- Etapa B3 - Projeto Executivo das Barragens Lontras e Inhuçu e Perímetro Irrigado
- Etapa B4 - Manuais de Operação e Manutenção do Sistema
- Etapa B5 - Avaliação Financeira e Econômica Final do Sistema – Barragens e Perímetro Irrigado.

O presente documento faz parte da **Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Lontras**.

O Projeto da **Barragem Lontras** é constituído de dois volumes, como discriminado a seguir:

• **Volume 1 – Estudos Básicos**

- **Tomo 1: Relatório Geral;**
- Tomo 2: Estudos Cartográficos;
- Tomo 2A: Estudos Cartográficos - Desenhos;
- Tomo 3: Estudos Hidrológicos;
- Tomo 4: Estudos Geológicos e Geotécnicos;
- Tomo 4A: Estudos Geológicos e Geotécnicos – Anexos dos estudos nos locais do barramento e sangradouro;
- Tomo 4B: Estudos Geológicos e Geotécnicos – Anexos dos estudos das jazidas;
- Tomo 5: Estudos Pedológicos;

• **Volume 2 – Projeto Executivo**

Tomo 1: Relatório de Concepção Geral;

- Tomo 2: Desenhos;
- Tomo 3: Memória de Calculo;
- Tomo 3A: Memória de Calculo – Dimensionamento estrutural;
- Tomo 4: Especificações técnicas e normas de medição e pagamento;
- Tomo 5: Quantitativos e Orçamento;
- Tomo 5A: Calculo de Quantitativos;
- Tomo 6: Relatório Síntese;

O presente documento é nomeado como **Tomo 1: Relatório Geral do Volume 1- Estudos Básicos** e aborda os seguintes capítulos:

- **Apresentação**
- **Localização e acesso**
- **Estudos topográficos**
- **Estudos geológicos e geotécnicos**
- **Estudos hidrológicos**
- **Estudos pedológicos**
- **Conclusões decorrentes dos estudos básicos**

1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

1. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A Barragem Lontras é parte integrante do Eixo de Integração da Ibiapaba, localizando-se na bacia do rio Inhuçu (Macambira). As obras integrantes da referida barragem de integração encontram-se integralmente inseridas no território da sub-bacia do Poti, afluente de primeira ordem do rio Parnaíba, mais especificamente na sua região de alto curso, no Estado do Ceará.

A Barragem Lontras será formada pelo barramento do rio Inhuçu, afluente do Poti, tendo sua bacia hidráulica abrangendo terras dos municípios de Ipueiras e Croatá. A barragem fechará o boqueirão existente imediatamente a montante da localidade de São José das Lontras, no município de Ipueiras, distando 15 km da sede do município de Croatá.

O acesso se dá a partir de Fortaleza tomando-se a BR-020 até a cidade de Canindé (113,0 km). Toma-se, então, a rodovia CE-257 por cerca de 181,0 km até a bifurcação com a CE-187. Percorre-se 17 km até a cidade de Ipueiras e 26,0km até uma estrada carroçável para acesso ao eixo da barragem, após um percurso de 18,0 km.

O acesso aéreo a área do empreendimento pode ser feito através dos aeródromos de Ipueiras, Ipu, Tianguá e Hidrolândia. O mapa de localização e acessos da área de abrangência do estudo encontra-se apresentado nas **Figura 1.1 e 1.2**.

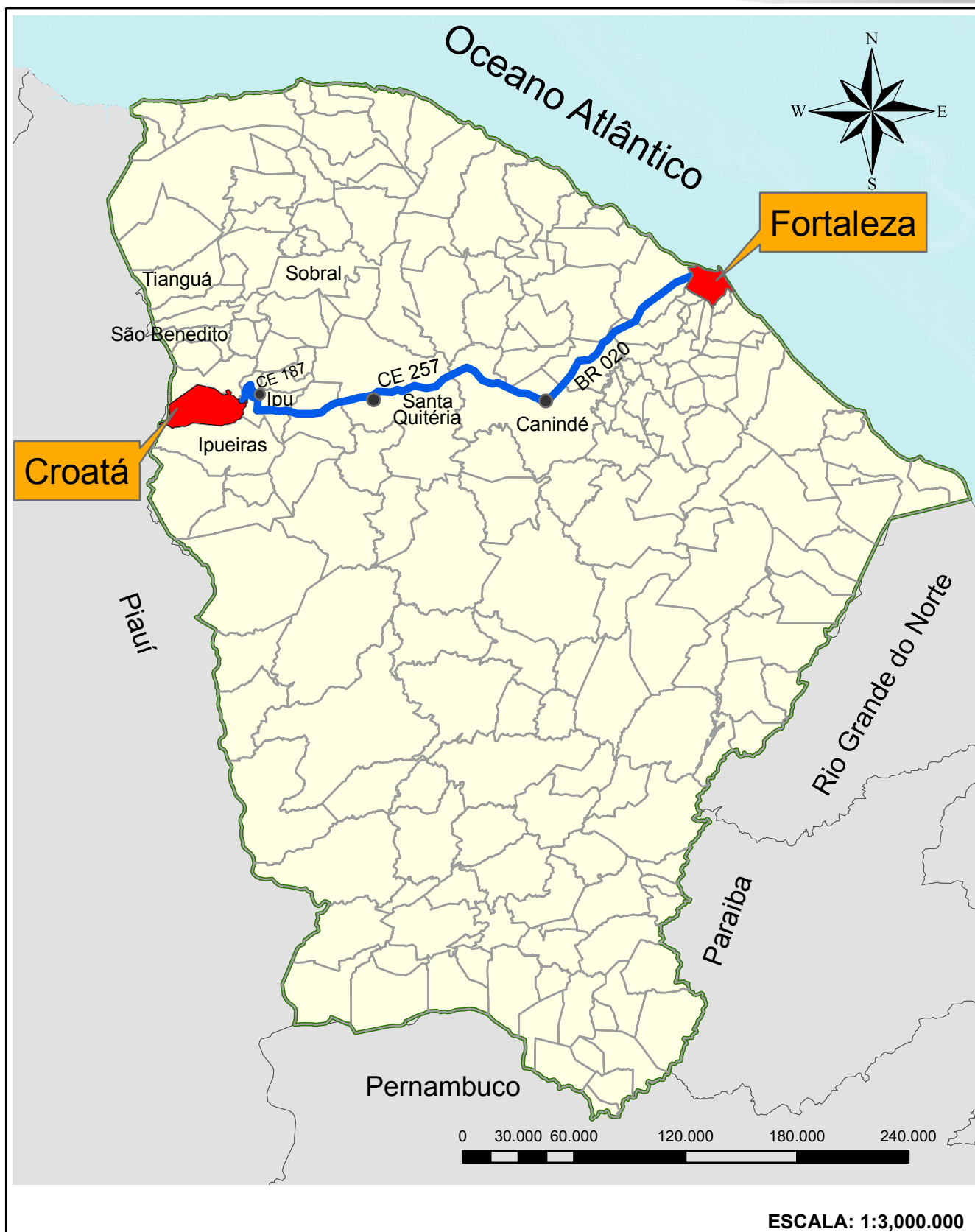


Figura 1.1 - Mapa de localização (contexto estadual)

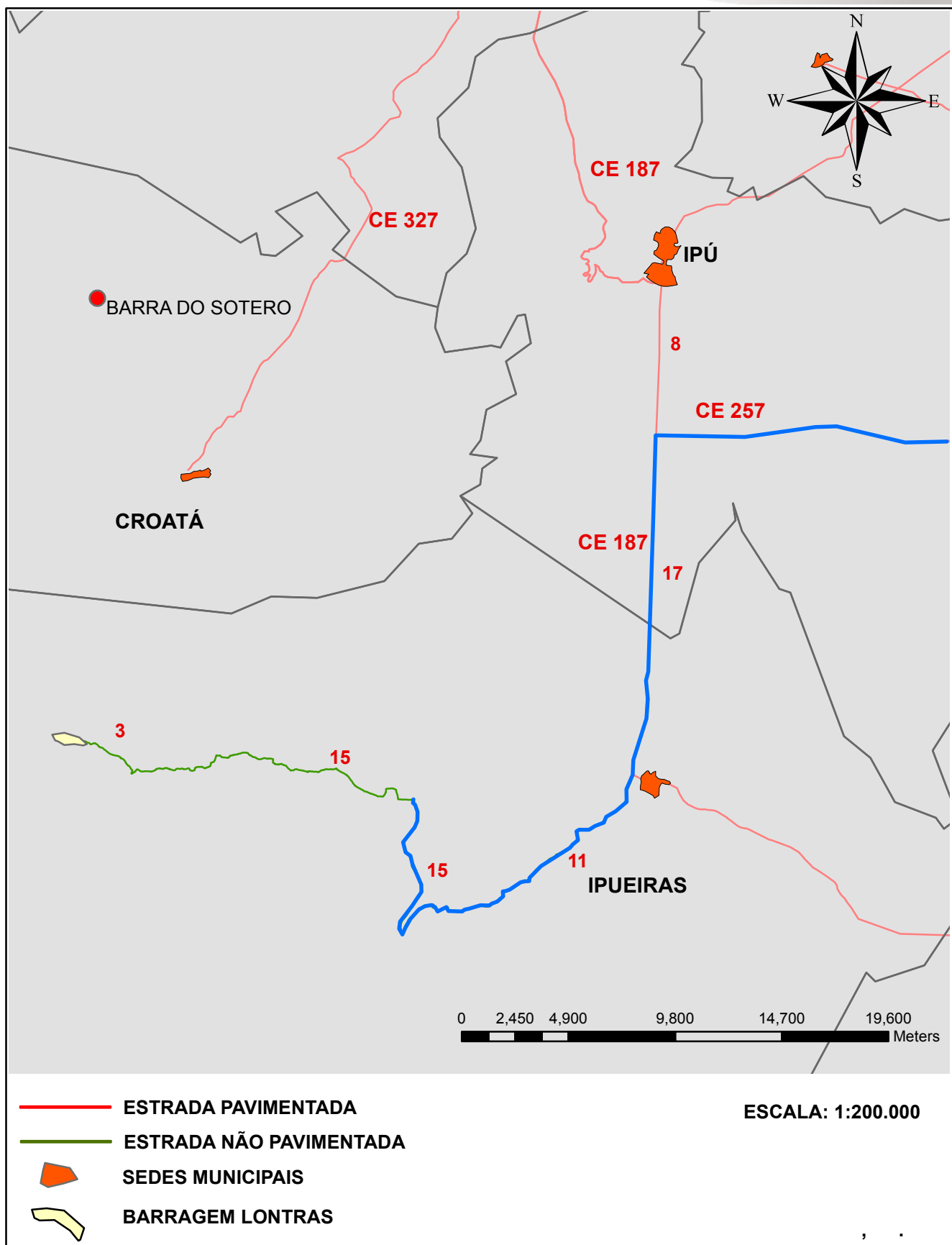


Figura 1.2 - Mapa de localização (contexto municipal)

2 ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

2. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

2.1 TRABALHOS CARTOGRÁFICOS

Os estudos cartográficos foram iniciados preliminarmente com base nas cartas da SUDENE (escala 1:100.000), e desenvolvidos através de reconhecimento a partir da fotointerpretação, restituições aerofotogramétrica e de levantamentos topográficos de apoio para a área da bacia do futuro reservatório da barragem Lontras.

A bacia hidrográfica da barragem foi delimitada sobre as cartas da SUDENE e avaliada em 847 km². O contorno da bacia hidrográfica da barragem Lontras está apresentado na **Figura 2.1** a seguir, em escala bastante reduzida, e nos desenhos em anexo presentes no Tomo 2A, com maiores detalhes.

Também, são descritos nos capítulos a seguir os estudos topográficos dos sítios das obras e das áreas fontes de materiais construtivos naturais.

Figura 2.1 – Bacia hidrográfica – barragem Lontras

2.1.1 Transporte de Cotas e de coordenadas

Para apoio a restituição fotogramétrica e aos trabalhos topográficos nos locais das obras foram realizados, pela empresa Topocart, as seguintes atividades de campo:

- Transporte de coordenadas a partir de 03 vértices oficiais do SGB dentre eles 02 (dois) da RBMC;
- Transporte de Cotas a partir de RNs Oficiais do IBGE;
- Levantamento e implantação de 02 pontos da rede de apoio básico;
- Levantamento e pré-sinalização de 11 pontos para o apoio suplementar.

A execução destas atividades de apoio básico foi precedida da etapa de planejamento, que teve como objetivo escolher as melhores alternativas referentes à utilização de pontos planimétricos e altimétricos, que compõem a Rede Oficial do IBGE.

Partindo-se das monografias disponibilizadas pelo IBGE, realizou-se o reconhecimento dos vértices existentes, de forma a garantir a sua utilização no Apoio Básico. O reconhecimento dos vértices consistiu ainda na verificação do estado físico dos monumentos, das condições para rastreamento por posicionamento de satélites, acessibilidade, tempo de percurso e necessidade de apoio logístico.

Os pontos da Rede de Apoio Básico possuem coordenadas planimétricas e altimétricas determinadas de acordo com o Sistema Geodésico Brasileiro. O referencial altimétrico do IBGE coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio dos mares, definidos pelas observações maregráficas tomadas na Baía de Imbituba-SC.

Após o reconhecimento dos pontos existentes, optou-se pela utilização dos vértices planimétricos da Rede Fundamental do IBGE pertencentes também à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC): SAT92449 (RNMO) e SAT93950 (SALU). O referencial altimétrico utilizado foi composto pela Referência de Nível: RN2596-X.

Um resumo dos dados desses vértices geodésicos utilizados é apresentado a seguir.

Pontos Planimétricos:

SAT92449

SAT93950

Pontos Altimétricos (RN's):

RN2596-X

A Implantação dos vértices da Rede de Apoio Básico (monumentação) foi feita por marcos de concreto armado, resistentes, da forma tronco-piramidal, medindo 0.10 x 0.15 x 0.40m (base superior, base inferior e altura). Os marcos foram cravados com profundidade de 0.30m, aflorando aproximadamente 0.10m do solo. Foi cravada uma chapa de latão circular de 3 cm de raio com as seguintes identificações: Nome da empresa executora; N°. do vértice; Ano de implantação e a inscrição “*Protegido por Lei*”

A escolha do local de implantação dos marcos foi feita com objetivo de otimizar as etapas posteriores de apoio suplementar e serviços topográficos, e levou-se em conta alguns critérios para facilitar o trabalho e garantir as precisões requeridas:

Locais de fácil acesso, porém protegidos e reservados de forma a impedir ou diminuir o risco de destruição dos marcos;





Horizonte livre para o rastreamento por posicionamento de satélites, evitando interferências e perda de sinal em função de obstáculos físicos;

Distribuição dos vértices estrategicamente de forma a atender os requisitos da Especificação Técnica quanto ao espaçamento máximo de 20km, tendo em vista a realização do apoio fotogramétrico;

Essa distância, além de apoiar as obras futuras, visou garantir que a influência do erro altimétrico, devido à variação da Ondulação Geoidal (N), fosse desprezível para a respectiva escala.

Um resumo dos dados dos vértices implantados é apresentado a seguir, no **Quadro 2.1**.

Quadro 2.1 - Resumo das Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000 e Altitudes Ortométricas

Vértice	Coordenada Geodésica Coordenada Plana (UTM/MC39° WGr)		Altitude Geométrica (m)	Foto
	Latitude (S) E (m)	Longitude (WGr) N (m)		
PA01	4°20'58.68663" 277338.965	41°00'22.79384" 9518929.598	556.587	
PA02	4°28'02.71629" 290764.249	40°53'08.52804" 9505937.425	593.474	
INHUÇU-01	4°20'14.93264" 284830.423	40°56'19.76421" 9520293.389	633.074	
INHUÇU-02	4°19'53.00984" 284089.915	40°56'43.71989" 9520965.010	555.807	

No que se refere ao Apoio Suplementar ou Fotogramétrico, este serviu para apoiar as fotografias aéreas métricas, a fim de proporcionarem coordenadas em um dado Sistema de Referência Terrestre. Para isto, realizou-se essa tarefa por meio de pré-sinalização em campo, através de marcações que antecedem ao momento da cobertura aerofotogramétrica. Foram planejados 11 pontos em campo para serem posteriormente utilizados na aerotriangulação como pontos de apoio.

As marcas pré-sinalizadas comumente denominadas GCP – *Ground Control Point* foram feitas de tal forma, que tivessem o necessário contraste com o solo, a fim de que se destacarem e fossem perfeitamente visíveis nas fotos aéreas.



Figura 2.2 - Ponto de apoio suplementar GCP-07



Figura 2.3 - Ponto de apoio suplementar GCP-09

Os pontos do Apoio Suplementar foram ocupados por receptores GNSS geodésico de dupla frequência L1/L2, de modo a garantir as precisões requeridas para essa etapa e processos posteriores. Estes pontos foram calculados no sistema de referência SIRGAS 2000, bem como os processos posteriores (Ortorretificação, Restituição e Edição Cartográfica).

Quadro 2.2 - resumo dos pontos de apoio suplementar

SIRGAS2000 – FUSO 24 SUL			
PONTO	NORTE	ESTE	ALTITUDE GEOMÉTRICA
PA01	277338.97	9518929.60	556.587
PA02	290764.25	9505937.43	593.474
GCP01	282238.922	9497750.567	490.873
GCP02	286501.418	9496887.958	547.012
GCP03	291213.128	9497494.443	652.028
GCP04	283725.906	9512235.594	575.567
GCP05	287075.977	9512947.244	529.516
GCP06	291952.640	9512535.126	628.115
GCP07	272884.882	9523532.194	629.588
GCP08	277864.693	9524812.796	715.236
GCP09	281048.587	9527678.919	621.574
PC01	285317.545	9503117.900	507.829
PC02	284271.660	9520338.040	561.736
INHAÇU 01	284830.423	9520293.389	633.074
INHAÇU 02	284089.915	9520965.010	555.807
JACARÉ 01	282891.247	9498817.828	485.610

Para a obtenção das altitudes ortométricas dos pontos de apoio Básico utilizou-se de nivelamento geométrico. O circuito foi executado partindo sempre de RN pertencente à rede altimétrica do IBGE. Utilizou-se a metodologia de levantamento em circuito fechado em 1 ou 2 pontos, sempre atendendo as precisões estabelecidas pela Norma Técnica NRB13133 como de Nivelamento de Primeira Ordem que estabelece precisão de $12 \text{ mm} \times \sqrt{\text{km}}$.

Com o fechamento realizado dentro da tolerância estabelecida o erro foi distribuído linearmente em função da distância percorrida dividida pela distância total do circuito.

O circuito 01 (um) teve sua partida no vértice RN2596V e foi desenvolvido por **104.274** km passando pelo PA 01 retornando a mesma RN, em virtude a ausência de outras na área, com erro de 0.103m, melhor que a Tolerância de 0.122m estabelecida para a Classe IN.

Visando a determinação das altitudes ortométricas do Pontos de Apoio Suplementar realizou-se um levantamento altimétrico, feito por posicionamento de satélites, chamado de Nivelamento GPS/MAPGEO, que consistiu basicamente no transporte de altitudes para os demais vértices da Rede de Apoio Básico, a partir do vértice de referência de nível (PA 01), este nivelamento geométricamente.

O transporte de coordenadas para os vértices foi realizado a partir de rastreamento simultâneos GPS, onde foram fixadas as altitudes geométricas obtidas a partir da RBMC. Posteriormente, realizou-se o transporte das altitudes geométricas para os GCPs, onde após a determinação das mesmas, foram calculadas as altitudes ortométricas utilizando a ondulação geoidal obtidas pelo MAPGEO, de acordo com a seguinte expressão:

$H = h - N$, Onde: H = altitude ortométrica, h = a altitude geométrica e N =a ondulação geoidal

Conforme observado durante a etapa de Nivelamento, a divergência encontrada na altitude ortométrica no marco analisado PA01 ficou na casa dos 0,14 m quando comparado com a altitude obtida a partir do MAPGEO2010. Desta maneira toda a ondulação encontrada no MAPGEO sofreu um fator de correção, esse fator é baseado na média entre a ondulação calculada e a fornecida pelo MAPGEO para os marcos adotados. Assim sendo, para este projeto, toda altitude ortométrica foi obtida pela correção da ondulação geoidal encontrada no MAPGEO2010 em 14cm.

A ondulação do geóide fornecida pelo IBGE e é ilustrada na **Figura 2.4**.

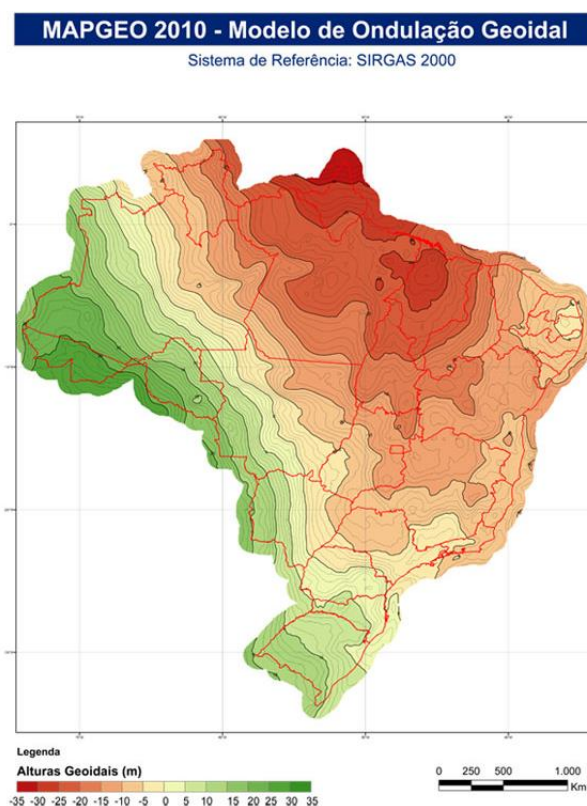


Figura 2.4 - Variação das ondulações do geóide em SIRGAS2000 (Fonte IBGE, 2010)

A **Figura 2.5** apresenta o Erro Médio Padrão das diferenças oriundas pelo MAPGEO2010 na comparação entre as estações GPS e as RN's.

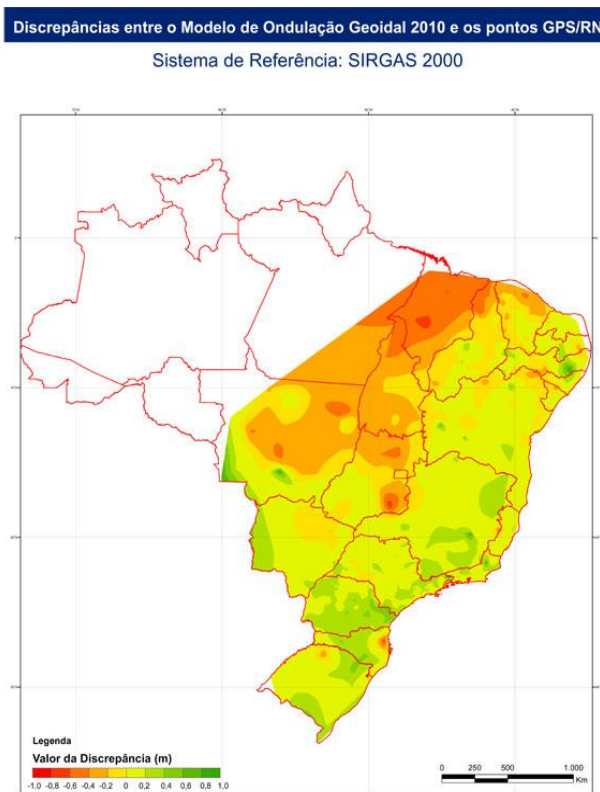


Figura 2.5 - Distribuição do Erro Padrão obtido a partir da comparação entre estações GPS e RN's (Fonte IBGE, 2010)

Abaixo é apresentado o **Quadro 2.3** com os valores obtidos:

Quadro 2.3 - Resumo Cálculo da Altitude Ortométrica (N) do apoio Suplementar

SIRGAS2000 – FUSO 24 SUL						
PONTO	ESTE	NORTE	ALTITUDE GEOMÉTRICA	ONDULAÇÃO GEOIDAL MapGeo2010	Fator Correção	ALTITUDE ORTOMÉTRICA
PA01	277338.965	9518929.598	556.587	-14.63	0.144	571.361
PA02	290764.249	9505937.425	593.474	-14.58	0.144	608.198
GCP01	282238.922	9497750.567	490.873	-14.87	0.144	505.887
GCP02	286501.418	9496887.958	547.012	-14.74	0.144	561.896
GCP03	291213.128	9497494.443	652.028	-14.62	0.144	666.792
GCP04	283725.906	9512235.594	575.567	-14.60	0.144	590.311
GCP05	287075.977	9512947.244	529.516	-14.52	0.144	544.180
GCP06	291952.640	9512535.126	628.115	-14.48	0.144	642.739
GCP07	272884.882	9523532.194	629.588	-14.70	0.144	644.432

SIRGAS2000 – FUSO 24 SUL						
PONTO	ESTE	NORTE	ALTITUDE GEOMÉTRICA	ONDULAÇÃO GEOIDAL MapGeo2010	Fator Correção	ALTITUDE ORTOMÉTRICA
GCP08	277864.693	9524812.796	715.236	-14.51	0.144	729.890
GCP09	281048.587	9527678.919	621.574	-14.38	0.144	636.098
PC01	285317.545	9503117.900	507.829	-14.71	0.144	522.683
PC02	284271.660	9520338.040	561.736	-14.43	0.144	576.310
INHAÇU 01	284830.423	9520293.389	633.074	-14.41	0.144	647.628
INHAÇU 02	284089.915	9520965.010	555.807	-14.42	0.144	570.371
JACARÉ 01	282891.247	9498817.828	485.610	-14.84	0.144	500.594

2.2 LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA

Os levantamentos foram executados numa área de aproximadamente 382 km² de cobertura aérea e 200 Km² de restituição, situada no estado do Ceará, abrangida pelo enquadramento geográfico de $\varphi=04^{\circ}12' S$, $\lambda=41^{\circ}10' WGr.$, e $\varphi=04^{\circ}36' S$, $\lambda=40^{\circ}44' WGr$, visando à implantação de obras de engenharia do Projeto do Eixo de Integração da Ibiapaba. A **Figura 2.6** apresenta a área levantada.

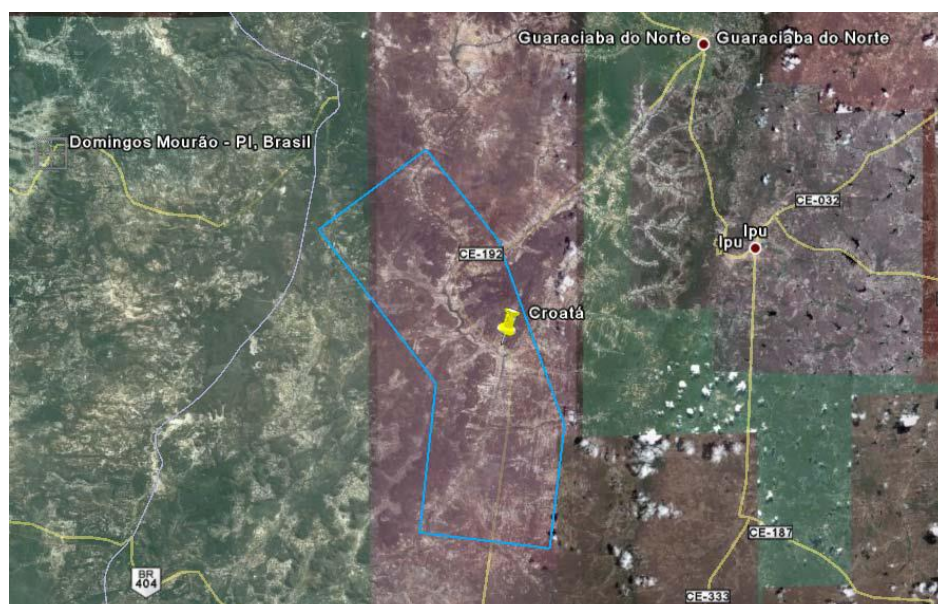


Figura 2.6 - Localização da área. Fonte: Google Earth.

2.2.1 Aerotriangulação

Para o desenvolvimento da aerotriangulação, adotou-se o método ISO – *Integrated Sensor Orientation* com a introdução das medições GPS/INS provenientes do receptor GPS e do IMU, somado aos dados dos pontos de apoio do terreno e dos pontos na imagem.

Na execução da aerotriangulação utilizou-se o software Match-AT da empresa *Inpho*. O modelo de ajustamento é baseado no método de feixes perspectivos (*bundle block*) sendo a unidade do processo a imagem.

A TOPOCART realizou o processo da aerotriangulação de forma totalmente digital, a partir das fotos aéreas obtidas pela câmera digital UltraCam Xp.

A seguir, é descrito um resumo da etapa do processo de aerotriangulação

a) Dados de entrada

- Centros de projeção e ângulos aproximados das fotografias determinados pelo receptor GPS e IMU durante a cobertura aerofotogramétrica;
- Imagens Digitais em formato TIFF;
- Pontos de Controle de Campo (Apoio Suplementar);
- Dados Adicionais (altura média do terreno e informações do certificado de calibração da câmera).

b) Calculo

Geração do Projeto AT: introdução das coordenadas e giros (devidamente pós-processados na etapa de cobertura aerofotogramétrica), os dados de entrada como calibração da câmera, coordenada dos pontos de apoio e de verificação, altura média do terreno, altura do voo e imagens digitais (geração das imagens piramidais, tamanho do pixel e orientação da digitalização das fotos);

Orientação Interna: para processamento da orientação interna das imagens obtidas pela câmera digital UltraCam Xp foi necessário a inserção dos dados do certificado de calibração (distância focal, posição do ponto de autocolimação, posição do ponto principal, correção de esfericidade e correção de refração);

Inicialização: a inicialização do processo permitiu definir a localização das áreas de Von Gruber;

Geração dos Tie Points ou Pontos de Enlace: na aerotriangulação automática gerou-se um grande número de pontos, de maneira automatizada, nas áreas conhecidas como de Gruber. Estes pontos são responsáveis pela ligação de modelos e faixas;

Medição dos Pontos de Apoio: realizada a geração dos Tie Points, a leitura dos pontos de apoio suplementar foi feita de modo assistida e em estéreo, assegurando a perfeita localização e consistência de cada ponto;

Pós-processamento: nesta fase foi realizado o processamento matemático do bloco, descrevendo os residuais dos pontos de enlace (Tie Points), controle (GCP) e verificação (check). Foi usado o sistema de detecção de erros denominado de “Automatic blunder detection”. A análise do resultado foi feita em forma gráfica e numérica, sendo prevista o número de interação necessária até a convergência dos resultados estabelecidos.

Durante o processo de aerotriangulação realizou-se um rigoroso controle de qualidade de todas as etapas, dentre as quais: análise da orientação interna, verificação da densidade e distribuição dos *Tie Points* e avaliação dos resultados estatísticos, destacando o estudo comparativo das coordenadas dos pontos de controle.

2.2.2 Restituição Digital

A restituição planialtimétrica foi realizada de modo que os dados provenientes das estações digitais apresentassem registro de suas coordenadas geográficas.

Na etapa de estereorestituição digital o detalhamento dos níveis de informação foi condizente com a escala de mapeamento e a relação de temas descrita na especificação, assegurando a consolidação de uma base cartográfica confiável. Na área objeto de mapeamento foram restituídos todos os detalhes visíveis no modelo, compatíveis com os temas necessários ao projeto e avaliação dos impactos da barragem Inhuçu.

Quanto à altimetria, em especial a extração das curvas de nível, foram obtidas através do software AU4 de forma indireta, a partir da interpolação dos dados provenientes do levantamento laser.

Adicionou-se os pontos cotados nas regiões de singularidade do terreno e outras informações altimétricas, incluindo os dados de hidrografia, para completar a representação da região de estudo.

Posteriormente as curvas de nível foram interpoladas dentro da mesma plataforma com a equidistância vertical de 1 metro e geradas de forma contínua. Esse processo garantiu grande segurança ao operador uma vez que, com a estação digital, é possível visualizar na tela do monitor, em estereoscópica, a superfície e todas as linhas tridimensionais e curvas de nível perfeitamente coerentes com a morfologia do terreno.

No final do processo e após a etapa de revisão, todas as informações planialtimétricas obtidas na restituição aerofotogramétrica foram exportadas nos seus respectivos layers de origem, sendo disponibilizados para as outras etapas do mapeamento.

2.2.3 Ortorretificação

A correção dos erros presentes em uma fotografia aérea, incluindo aí, as correções do deslocamento devido ao relevo, tem sido apresentada como uma operação de ortorretificação ou retificação diferencial, que por sua vez, gera produtos conhecidos como ortofotos digitais.

O processo de ortorretificação tem como objetivo reprojetar a cena de uma fotografia (projeção cônica), em uma nova cena, agora em projeção ortogonal e conseqüentemente, corrigir efeitos de distorções geométricas da imagem.

A ortorretificação das imagens para a geração das ortofotos digitais foi realizada a partir do programa OrthoMaster, sendo utilizados todos os dados descritos anteriormente. Nessa etapa foram observadas e atendidas todas as especificações quanto à precisão, ao formato de entrega e o valor da resolução espacial.

O processo de ortorretificação iniciou-se com a montagem de um projeto e a definição de alguns dados como: datum, sistema de projeção, resolução espacial e orientação das imagens.

Posteriormente o software fez um ajuste dos pontos provenientes da aerotriangulação, resultando em uma tabela que contém o nome do ponto, foto a que ele pertence e seu respectivo residual (RMS). Através do RMS de cada ponto foi feita uma meticolosa análise

destes residuais, tendo-se a opção de retirar o ponto do ajuste, a fim de proporcionar um residual médio satisfatório na elaboração da ortofoto.

Na ortorretificação digital é imprescindível ter em mãos o Modelo Digital do Terreno (MDT) para que os deslocamentos dos pontos objetos na imagem, devido ao relevo, possam ser corrigidos.

Durante o processo de ortorretificação, como interpolador, utilizou-se o método cúbico (determina o valor de brilho de um pixel, a partir de uma média oriunda de uma área de 16 pixels vizinhos ao ponto de ser interpolado) para a reamostragem da imagem retificada. O princípio utilizado para a construção das ortofotos digitais está baseado no seguinte conceito: dada a posição de um futuro pixel no plano cartográfico em questão, pelas coordenadas do centro do quadrado que ele represente, determinou-se a altitude deste ponto, com auxílio do MDT. Com as três coordenadas (X,Y,Z) do ponto e conhecido os parâmetros de recessão da foto, como auxílio das equações projetivas, encontra-se a posição deste ponto na imagem.

Quando encontrado um pixel exatamente nesta posição, sua cor será copiada para a posição do ponto em questão na ortofoto. Caso contrário, uma aproximação é feita. Os critérios para tal consistem em uma média entre os pixels vizinhos, utilizando-se de interpoladores. A cor do pixel dada pelo algoritmo adotado é assumida pelo pixel prospectivo da futura ortofoto digital.

A resolução das ortofotos na escala 1:5.000 foram de 0,15 metro e o MDT para este projeto foi gerado com resolução espacial de 0,45 metros e como referência cartográfica padronizou-se o SIRGAS 2000.

2.2.4 Mosaicagem, processamento da imagem e corte das folhas

A mosaicagem resume-se basicamente em reunir duas ou mais ortofotos com superposição para criar uma representação contínua de toda a área coberta.

No processo de mosaicagem as ortofotos foram inseridas em um ambiente bidimensional, dispostas de acordo com seu georreferenciamento, de forma a possibilitar o corte através de feições do terreno de cada ortofoto. Ao final, estas regiões foram unidas e salvas em um único arquivo, denominadas mosaico. Para a obtenção de mosaicos de boa qualidade alguns cuidados foram tomados, tais como: padronização radiométrica das ortofotos e determinação do perfil das diferenças radiométricas ao longo da linha de ligação entre as

ortofotografias. Terminada a etapa de mosaicação, o mosaico foi submetido a técnicas de realce e balanceamento de cores. Na sequência realizou-se o corte do mosaico em folhas para garantir uma melhor manipulação das ortofotos, uma vez que o mosaico tende a ser um arquivo com tamanho relevante.

As folhas parciais foram cortadas através de coordenadas dos cantos superior esquerdo e inferior direito da articulação pré-definida, respeitando sempre um buffer determinado de acordo com a escala de apresentação das ortofotos, neste caso adotou-se 500 metros. A **Figura 2.7**, apresenta um exemplo de uma imagem contínua da área de interesse do projeto, após a conclusão da mosaicação e do processamento da imagem.

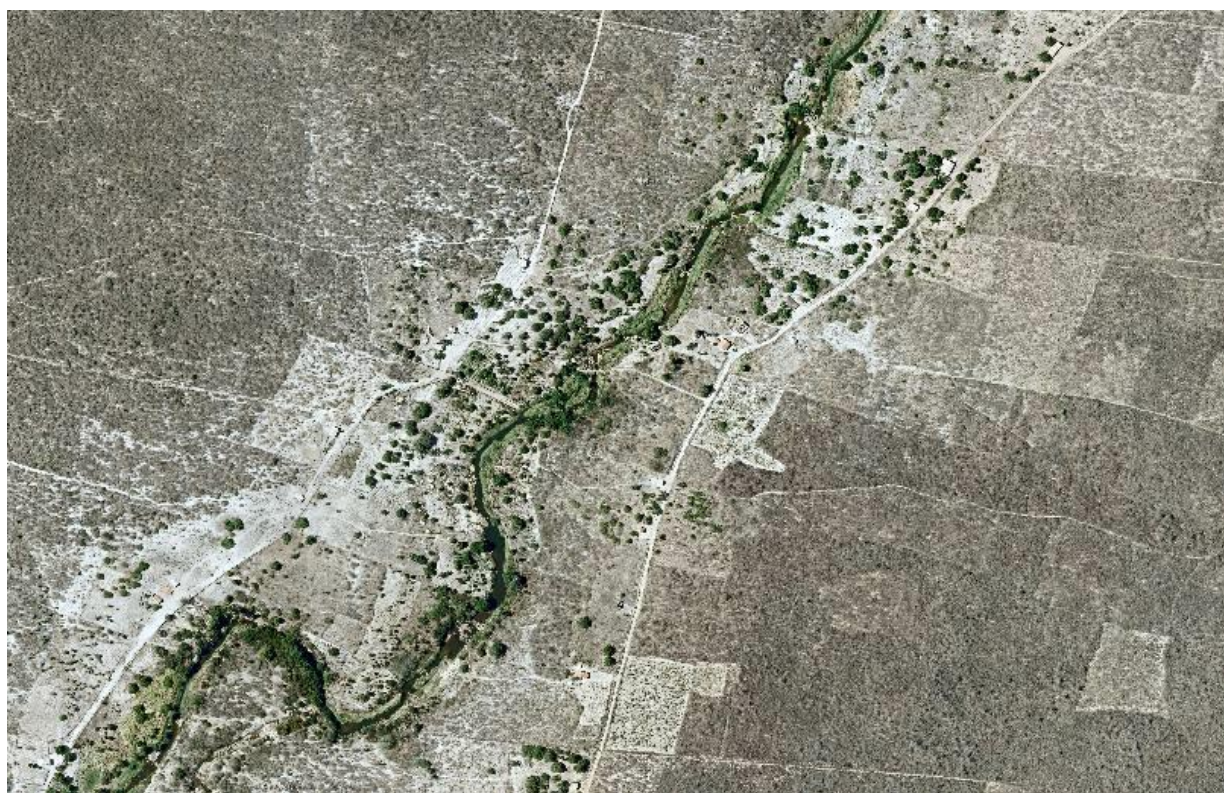


Figura 2.7 - Imagem contínua Ortofoto de uma área do projeto

2.2.5 Edição Cartográfica

Reambulação é uma fase integrada à edição, mas que se inicia ainda na etapa de campo ou escritório, quando são coletadas informações que foram inseridas nas cartas topográficas

finais. Consiste em identificar as feições registradas de forma a coletar todas as informações necessárias, possibilitando que as toponímias sejam atribuídas ao mapeamento.

A etapa de reambulação teve início após a fase de restituição, na edição cartográfica. Os principais objetivos foram a identificação de toponímias de acidentes geográficos naturais e artificiais, bem como os pontos relevantes existentes na área de mapeamento e dos elementos que a compõem. O nível de informação coletada nessa fase está de acordo com a escala de mapeamento e dos objetivos a serem atendidos e em concordância as especificações técnicas do projeto.

Na fase de edição cartográfica foi finalizada a edição da articulação onde determinou-se as malhas UTM – SIRGAS 2000, as coordenadas geográficas dos cantos das folhas e a convergência meridiana. A malha UTM é composta de quadriculados de 10 × 10 cm, com distâncias de 500 m para a escala de 1:5.000.

2.3 LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL

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

2.3.1 Locação dos eixos e Implantação de Marcos

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

O ponto de partida, estaca 00, está localizado na ombreira direita, onde foi implantado o marco de concreto M-1. Buscando uma melhor locação seguindo o divisor de águas, se fez necessária uma deflexão à direita, na estaca 42+ 10,00, onde se instalou o marco M-20 na estaca 42+9m e o marco 21 na estaca 43+6,41. Na ombreira esquerda encontra-se a estaca final do eixo (60+23,25), onde está instalado o marco M-22.

Posteriormente houve necessidade de implantação de um prolongamento do eixo aquém da estaca zero, cujas estacas foram identificadas com sinal negativo até a estaca -05. Na

estaca -4 +6,14 foi instalado um marco. O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados:

Quadro 2.4 - Relação de Marcos no Eixo da Barragem

Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)		Cotas (m)
		Este	Norte	
M-1	00	282.647	9.499.669	542,93
M-20	41+11	283.371	9.499.262	491,64
M-21	42 +13,59	283.389	9.499.248	494,17
M-22	60+23,25	283.675	9.499.013	544,97
M-3	-4 + 6,14	282.572	9.499.711	555,23

2.3.2 Nivelamento

O levantamento altimétrico da barragem Lontras, foi realizado utilizando-se um nível WILD N-1, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado, partindo-se das cotas transportadas do RN 2596X (IBGE), conforme descrito no item 2.1.1.

2.3.3 Levantamento de Seções Transversais

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

2.4 LEVANTAMENTO DO CANAL DE APROXIMAÇÃO E RESTITUIÇÃO

A região que abrange a área de interesse do projeto do canal de aproximação e restituição dos caudais do sangradouro da barragem Lontras, foi levantada plani-altimetricamente através de processos topográficos convencionais, constando de: locação, nivelamento e levantamento de seções transversais.

2.4.1 Locação

Locou-se o canal de restituição utilizando-se um Teodolito WILD T-1, o qual foi estaqueado e numerado a cada 20 metros, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis do relevo.

A partir da estaca 0 do eixo da barragem/sangradouro, foi locada a poligonal do canal de aproximação restituição com 960 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até próximo do rio.

2.4.2 Nivelamento e Seções Transversais

Utilizando-se um nível WILD N-1, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, através de seccionamento a cada 20 metros, com 80 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros. A partir desse levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro.

2.5 LEVANTAMENTO DE OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS NATURAIS

2.5.1 Jazidas de Solos

As áreas das ocorrências de materiais terrosos construtivos para execução da barragem Lontras tiveram todos os seus furos levantados com GPS de precisão, tendo como base os marcos implantados nos trabalhos de apoio de campo ao levantamento aerofotogramétrico.

As ocorrências objeto do levantamento planimétrico foram: Jazidas de solo areno argiloso J-01, J-02, J-02A, J-03, J-03A, J-04, J-04A, J-05, J-08, e J-09.

Inicialmente locaram-se os poços de sondagem levantados em cada jazida sobre uma planta obtida por imageamento de satélite. Em seguida retirou-se as distancias do centro de cada jazida ate o eixo projetado para a barragem, através das estradas existentes na região ou previstas de serem abertas.

O **Quadro 2.5** apresenta a quantidade de furos, a área levantada e a distância de cada jazida ao eixo barrável:

Quadro 2.5 - Estudo Topográfico das Jazidas

Local	Volume (m ³)		
	Utilizável	Expurgável	Total
Jazida J - 01	153.576	21.330	174.906
Jazida J - 02	135.921	20.470	156.391
Jazida J - 02A	195.264	54.240	249.504
Jazida J - 03	502.372	68.630	571.002
Jazida J - 03A	51.524	11.710	63.234
Jazida J - 04	621.698	65.580	687.278
Jazida J - 04A	675.749	67.440	743.189
Jazida J - 05	608.736	59.680	668.416
Jazida J - 08	1.016.652	254.163	1.270.815
Jazida J - 09	1.172.745	98.550	1.271.295

2.5.2 Areal

Para execução do filtro de areia e fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem Lontras, foram realizadas investigações geotécnicas por meio de poços à pá e picareta, ao longo dos leitos do rio Jatobá. Estes poços tiveram suas coordenadas registradas através de GPS manual, que são apresentadas a seguir no **Quadro 2.6**.

Quadro 2.6 - Levantamento planimétrico do Areal

AREAL DO RIO JATOBÁ		
01	309.097	9.497.802
02	309.142	9.497.996
04	309946	9500493
05	310053	9500493
06	310171	9500734
07	309997	9500908
08	310072	9501102
09	310106	9501342
10	309933	9501508
11	309854	9501724
12	309688	9501896
13	309624	9502066
14	309806	9502262

15	309940	9502456
16	310272	9502586
17	310488	9502918
18	310622	9503152
19	310837	9503314
20	310834	9503620
21	310859	9503830
22	310725	9504034

2.5.3 Pedreiras

2.5.3.1 Pedreira de Arenito

Na pedreira de onde será extraído o material arenítico necessário para a construção dos espaldares da barragem, que se situa em média de 1,9 km a montante do eixo. A seguir são apresentadas as coordenadas dos referidos pontos:

Quadro 2.7 - Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 01

Pontos	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
PEDREIRA 01		
01	283.278,408	9.501.404,645
02	283.484,464	9.501.314,279
03	283.082,838	9.500.398,475
04	282.945,468	9.500.458,719

2.5.3.2 Pedreira de Gnaiss

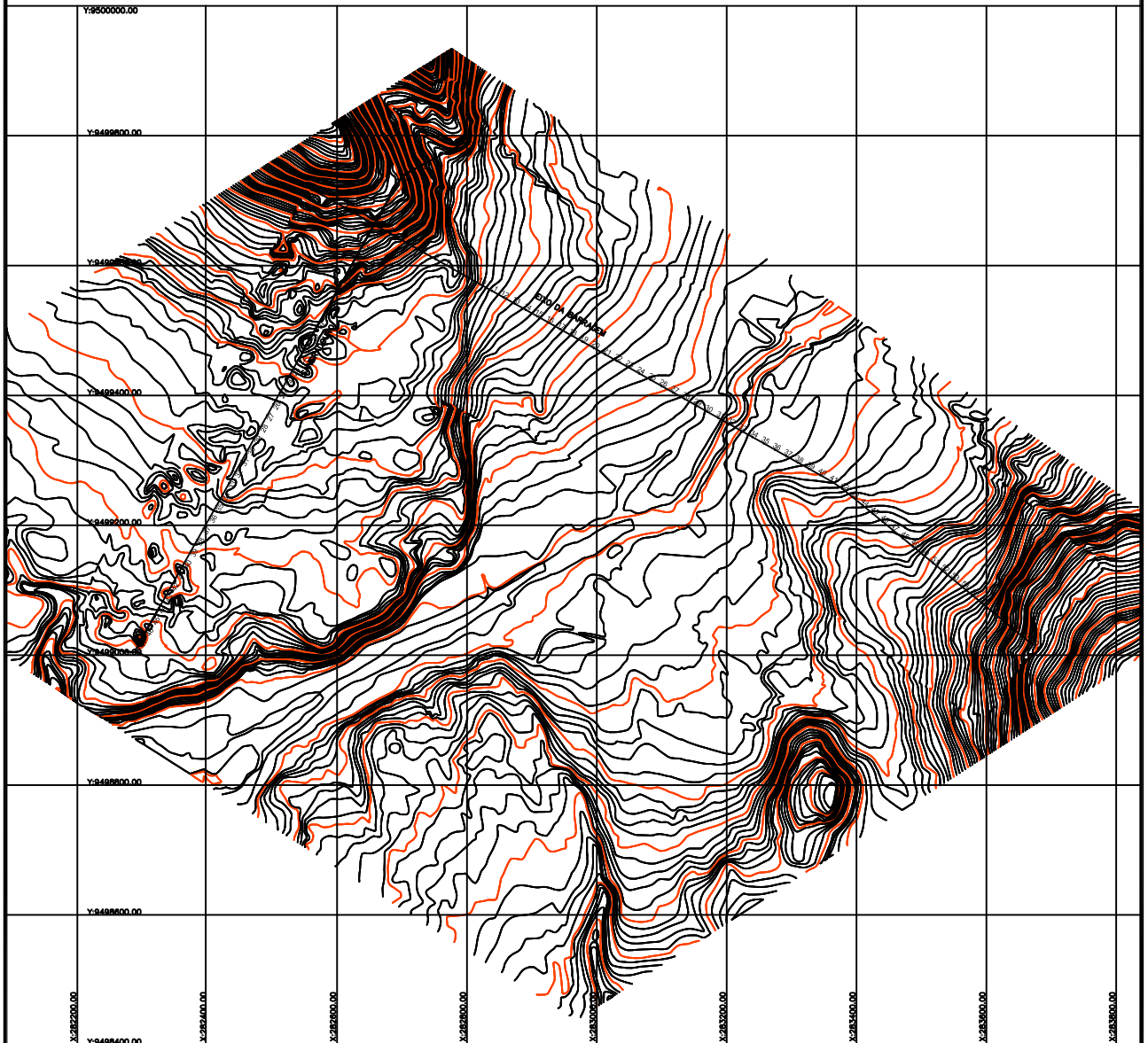
Na pedreira de onde será extraído o material pétreo do tipo Gnaiss, situa-se a cerca de 36 km do eixo da barragem. O material a ser explorado nesta pedreira será destinado a

britagem para utilização nas transições de filtro e nas obras de concreto. A seguir é apresentada a coordenada do referido ponto:

Quadro 2.8 – Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 02

Pontos	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
01	304.703	9.491.143

BARRAGEM LONTRAS
LEVANTAMENTO PLANALTIMÉTRICO



3 ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

3.1 GEOLOGIA REGIONAL

Na serra de Ibiapaba, os sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba encobrem o embasamento cristalino, que já foi sede de incontáveis eventos tectônicos. A maior parte desses eventos antecedeu a formação da bacia sedimentar, mas alguns ocorreram em etapa posterior e deixaram sua marca gravada nos próprios sedimentos.

No Mesozóico, extensas falhas foram reativadas, dentre elas o Lineamento Sobral-Pedro II, que constitui uma das principais estruturas rúpteis, em escala regional e continental (**Figura 3.1**). Na região entre os municípios de Santana do Acaraú e Morrinhos e adjacente ao já referido lineamento, ocorre uma faixa com cerca de 30 km de extensão, orientada no sentido NE, composta por arenitos e arenitos conglomeráticos, correlacionados à seção basal do Grupo Serra Grande, de idade siluro-devoniana, que constituem um marcador por excelência da deformação ocorrida.

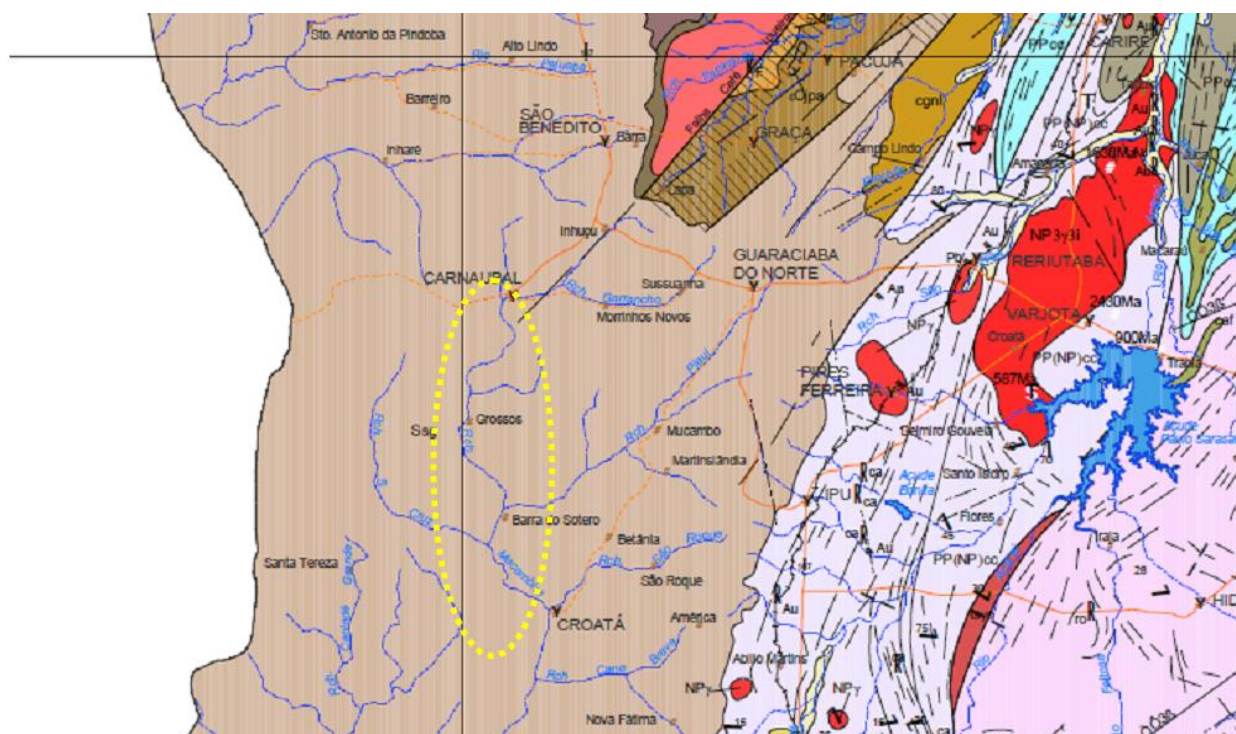


Figura 3.1 - Uma extensa fossa tectônica afetou o embasamento cristalino e se refletiu também nos sedimentos devonianos da formação Serra Geral. A área de interesse aos empreendimentos, assinalada pela elipse, foi afetada pelo referido tectonismo (Mapa Geológico do CPRM - 2003).

O espesso pacote de sedimentos da formação Serra Grande, no alto da chapada, foi submetido ao mesmo tectonismo que atingiu o embasamento cristalino, ao longo de uma faixa de território que se prolonga no sentido NE-SW e que possui uma largura de algumas dezenas de quilômetros. Esta faixa é delimitada pelo lineamento Sobral-Pedro II, que passa pela cidade de Guaraciaba do Norte e por outro lineamento importante, paralelo ao primeiro, denominado Falha Café-Ipoeiras, que passa próximo à cidade de Inhuçu.

O mapa fisiográfico da região de interesse mostra que os sítios de barramento previstos se situam dentro de uma faixa afetada, conforme referido acima, por eventos tectônicos ocorridos após a sedimentação da formação Serra Grande.

Uma nova etapa de tectonismo se manifestou em época posterior à da reativação do lineamento Sobral-Pedro II, com desenvolvimento de um sistema de falhamentos transcorrentes, alinhados na direção aproximada NW-SE, que induziu deslocamentos relativos entre blocos, configurando uma fossa tectônica.

Deslocamentos relativos entre blocos, tanto verticais, quanto horizontais, além de basculamentos, podem ser observados no terreno, graças à presença de horizontes-guias, claramente visíveis nas elevações que delimitam os vales dos principais cursos d'água.

3.2 GEOLOGIA LOCAL

No sítio da barragem de Lontras ocorrem sedimentos da formação Serra Grande, que integra a sequência de unidades sedimentares da Bacia do Parnaíba (ou bacia do Maranhão-Piauí) e compreende um pacote de arenitos finos a grosseiros, às vezes conglomeráticos, com intercalações siltosas e arenosas bem definidas, cuja presença pode ser observada tanto nos afloramentos das escarpas da Serra de Ibiapaba, quanto nos testemunhos das sondagens feitas no local do empreendimento.

A posição da formação Serra Grande é basal em relação à estratigrafia da bacia, apoiando-se diretamente sobre o substrato cristalino. Quando não perturbado por tectonismo, o acamamento dos sedimentos mergulha suavemente para oeste, isto é, para o interior da bacia sedimentar.

A sequência sedimentar local se caracteriza pela atitude sub-horizontal das camadas, com mergulhos de amplitude restrita a poucos graus. Localmente, encontram-se afloramentos

com mergulhos mais acentuados, de no máximo 15° a 20°, sem uma orientação preferencial, voltados praticamente para todos os quadrantes e que persistem por distâncias relativamente curtas, na escala das dezenas de metros.

No sítio, o arenito é geralmente fino e se apresenta associado a estratos sub-horizontais de siltito e folhelho intercalados, sendo finamente estratificado, friável e frequentemente pouco consistente, de cor cinza claro, amarelado e, às vezes, vermelho ferruginoso, ou cinza escuro, quando coerente.

É frequente a presença de estruturas de estratificação cruzada, que podem exibir mergulhos mais acentuados (300 a 400), mas que não possuem continuidade significativa. Trata-se de estruturas secundárias, com extensão limitada a poucos metros, no máximo.

Os afloramentos rochosos são frequentes, embora não contínuos, concentrando-se nas duas ombreiras e no leito do rio. Nas ombreiras, observa-se a presença de degraus mais acentuados na topografia, sustentados por camadas de arenito muito coerente, normalmente silicificadas, verdadeiros quartzitos.

Grandes acúmulos de blocos, das mais variadas dimensões, são observados logo abaixo dos referidos degraus e refletem o processo de evolução e recuo das encostas.

Cada degrau está associado à presença, em sua base, de camadas de arenito e/ou siltito menos coerentes, frequentemente brandos e facilmente erodíveis. A remoção desses horizontes pouco coerentes, pela ação dos agentes externos, deixa os blocos de arenito coerente em balanço, até que a perda da base de sustentação provoca sua queda. Este é o mecanismo de evolução do relevo local.

A cobertura de solos é, em geral, escassa ou inexistente. Na porção inferior das encostas, em áreas de menor declividade, ela se limita a poucas dezenas de centímetros, ou, no máximo, a um ou dois metros e é formada por solos essencialmente siltosos e arenosos finos, não coesivos, com relevante presença de pequenos blocos e seixos imersos.

3.3 INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO

3.3.1 Sondagens realizadas

Os estudos geotécnicos da Barragem Lontras constituem a realização de prospecções mecânicas de superfície no local do barramento, aos ensaios in situ executados nestas prospecções. Além disso, foram realizadas investigações nas áreas de ocorrências de materiais construtivos e os ensaios laboratoriais executados a partir de amostras representativas extraídas das ocorrências.

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

No eixo adotado foram realizadas , na região do barramento ,15 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa). A localização de todos os furos da campanha de sondagens é indicada na **Figura 3.2**, apresentada a seguir.

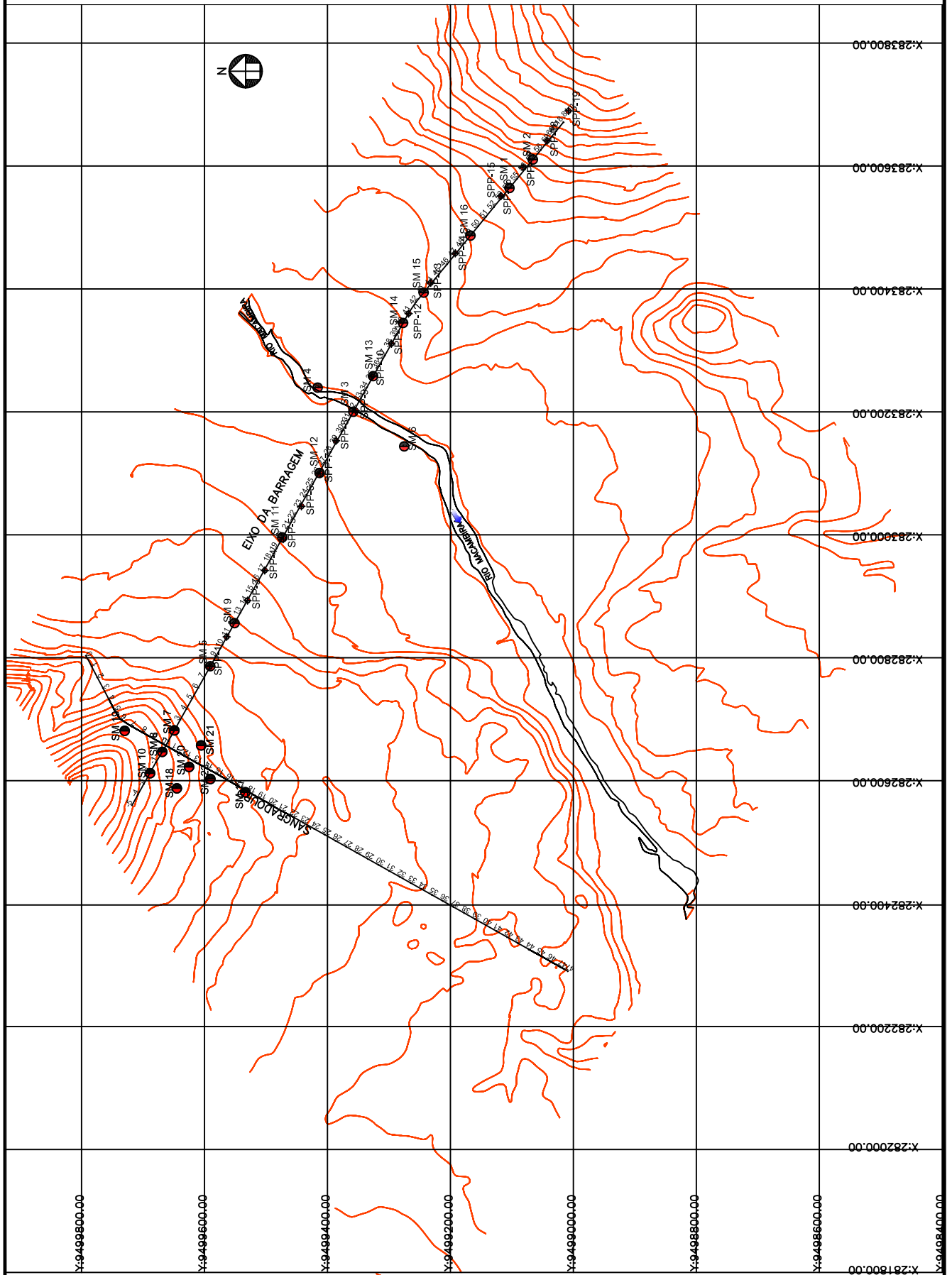
Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em furos de sondagens no eixo da barragem. No trecho em solo das sondagens mistas e nas percussivas, estes testes consistiram de ensaios de infiltração de carga e vazão constante (Lefranc) e, no trecho perfurado com sonda rotativa, de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon).

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

Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são apresentados nos desenhos do Tomo 4 A, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Além das sondagens mecânicas, também foram realizadas um levantamento Geofísico por Métodos do Imageamento Geoelétrico e Sísmica de Refração no eixo barrável e no eixo do canal de restituição do sangradouro. Estes métodos de investigação geotécnica indireta tiveram por finalidade de complementar as sondagens realizadas e localizar possíveis anomalias que não foram identificadas pelas demais investigações.

Campanha de sondagens - Barragem Lontras



3.3.1.1 Sondagens Mistas

No local do eixo da barragem, foram executadas 15 sondagens mistas, sendo 30,86 m de sondagem percussiva e 102,60m de sondagem rotativa, totalizando 133,46m.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa HX de diamante acoplada a um barrilete duplo. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

No **Quadro 3.1** a seguir são relacionadas as sondagens mistas, informadas suas referencias plani-altimétricas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.

Quadro 3.1 - Investigação Geotécnica no Eixo da Barragem Lontras Sondagem Mista - Zona do maciço da barragem

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	EMPRESA
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SMB-1	54+00	9.499.104	283.564	511,11	-	26,15	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-2	57+00	9.499.066	283.611	521,87	1,45	28,55	Arenito	TECNORD
SMB-3	31+15	9.499.355	283.205	486,71	2,40	27,90	Arenito c/ intercalações siltito	STS
SMB-4	32+00(70m MONTANTE)	9.499.416	283.239	483	1,68	28,32	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-5	8+00	9.499.591	282.786	518,11	-	20,00	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-6	31+15(100m JUSANTE)	9.499.275	283.144	487,09	3,20	27,90	Arenito c/ intercalações siltito	STS
SMB-9	12+00	9.499.551	282.856	505,43	2,45	17,70	Arenito c/ intercalações siltito	STS
SMB-11	20+00	9.499.473	282.996	494,6	3,07	17,06	Arenito	STS
SMB-12	26+00	9.499.414	283.100	492,2	1,20	19,97	Arenito	STS
SMB-13	35+00	9.499.326	283.257	487,68	3,55	21,45	Arenito	STS

SMB-14	40+00	9.499.277	283.345	490,03	0,46	24,64	Arenito	STS
SMB-15	43+00	9.499.243	283.394	494,95	2,00	18,50	Arenito	STS
SMB-16	49+00	9.499.167	283.487	500,14	1,65	18,35	Arenito	STS
SMB-23	12+00(60m JUSANTE)	9499499	282827	504,97	7,75	4,55	Diabásio	TECNORD
SMB-24	16+00	9499512	282926	499,94	0,75	17,37	Arenito	TECNORD

3.3.1.2 Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas, trecho em solo, e nas sondagens percussivas foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. O número de ensaios e a permeabilidade máxima (cm/s) encontradas por furo são relacionadas no **Quadro 3.2** e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais e em fichas de cálculo no **Tomo 4 A**.

Também foram executados ensaios de perda de água sob pressão (ensaio lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. o número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas, também, no **Quadro 3.3**, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no **Tomo 4 A**.

Quadro 3.2 - Investigação geotécnica no eixo da barragem Lontras - ensaios de infiltração do tipo Lefranc

Furo	Estaca	Cota (m)			Profundidade (m)		K (cm/s)
		Boca do Furo	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
SMB-04	32+00(70m MONTANTE))	483	482,32	481,32	0,68	1,68	$1,22 \times 10^{-3}$

Quadro 3.3 - Investigação geotécnica no eixo da barragem Lontras - ensaios de Lugeon

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
SM-01	2+10	637,74	633,04	4,70	6,46	62,29	5,1x10 ⁻³
			624,28	13,46	15,46	264,38	2,3x10 ⁻²
			623,28	14,46	15,46	0,37	2,5x10 ⁻⁵
			622,28	15,46	18,31	901,08	8,6x10 ⁻²
			619,43	18,31	21,13	51,40	4,9x10 ⁻³
			618,43	19,31	21,13	274,03	2,3x10 ⁻²
			617,43	20,31	21,13	528,96	3,3x10 ⁻²
			612,61	25,13	27,13	17,74	1,5x10 ⁻³
			611,61	26,13	27,13	19,94	1,4x10 ⁻³
			610,48	27,13	30,00	176,64	1,7x10 ⁻²
SM-02	9+10	618,14	609,61	28,13	30,00	200,70	1,7x10 ⁻²
			11,74	1,70	4,70	96,82	9,4x10 ⁻³
			11,00	11,00	15,00	0,18	1,9x10 ⁻⁵
			4,32	15,00	18,00	0,11	1,1x10 ⁻⁵
			1,32	18,00	21,00	1,09	1,1x10 ⁻⁴
SM-03	12 +10	601,65	6,57	21,00	23,00	2,17	1,9x10 ⁻⁴
			597,55	4,10	7,10	21,31	2,7x10 ⁻³
			594,35	7,30	10,30	25,13	2,4x10 ⁻³
			593,35	8,30	10,30	32,92	2,9x10 ⁻³
			592,35	9,30	10,30	103,80	7,1x10 ⁻³
			589,35	12,30	15,30	3,89	4,1x10 ⁻⁴
			588,35	13,30	15,30	6,08	5,7x10 ⁻⁴
			586,35	15,30	18,30	85,92	9,0x10 ⁻³
			585,35	16,30	18,30	1321,56	1,2x10 ⁻¹
			583,35	18,30	21,30	0,39	4,1x10 ⁻⁵
			580,35	21,30	24,30	0,82	8,6x10 ⁻⁵
SM-04	20	504,38	577,35	24,30	27,30	0,22	2,3x10 ⁻⁵
			574,35	27,30	30,00	0,30	3,1x10 ⁻⁵
			502,98	1,40	4,40	22,69	2,2x10 ⁻³
			499,98	4,40	7,40	0,40	3,9x10 ⁻⁵
			496,98	7,40	10,40	9,52	9,2x10 ⁻⁴
			493,98	10,40	13,40	0,28	2,7x10 ⁻⁵
			490,98	13,40	16,40	0,55	5,3x10 ⁻⁵
			487,98	16,40	19,40	0,44	4,3x10 ⁻⁵
			484,98	19,40	22,32	1,42	1,4x10 ⁻⁴
			482,06	22,32	25,50	2,21	2,2x10 ⁻⁴
			478,88	25,50	28,50	10,38	1,0x10 ⁻³
SM-05	30	584,26	477,88	26,50	27,50	52,16	3,6x10 ⁻³
			477,88	26,50	30,00	0,13	1,3x10 ⁻⁵
			581,22	3,04	6,04	11,61	1,1x10 ⁻³
			580,22	4,04	6,04	23,28	2,0x10 ⁻³
			578,22	6,04	9,04	7,00	6,8x10 ⁻⁴
			575,22	9,04	12,04	1,39	1,4x10 ⁻⁴
			572,22	12,04	15,04	4,21	4,1x10 ⁻⁴
			569,22	15,04	18,04	1,99	1,9x10 ⁻⁴
			566,22	18,04	21,04	0,65	6,3x10 ⁻⁵
			563,22	21,04	24,04	2,26	2,4x10 ⁻⁴
			560,22	24,04	27,04	0,12	1,2x10 ⁻⁵
SM-06	40	577,04	557,26	27,00	30,00	0,40	4,2x10 ⁻⁵
			598,04	9,00	10,50	2,01	1,6x10 ⁻⁴
			566,54	10,50	13,50	0,18	1,8x10 ⁻⁵
			563,54	13,50	17,00	0,28	2,9x10 ⁻⁵
			559,54	17,50	21,00	0,67	7,3x10 ⁻⁵
			556,04	21,00	24,00	0,86	9,0x10 ⁻⁵
			553,04	24,00	27,00	0,41	4,2x10 ⁻⁵
550,04	27,00	30,00	0,15	1,5x10 ⁻⁵			

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
SM-07	45	563,26	560,76	2,50	5,50	29,73	2,9x10-3
			559,76	3,50	5,50	36,55	3,2x10-3
			558,76	4,50	5,50	91,78	6,3x10-3
			557,76	5,50	8,50	39,23	3,8x10-3
			556,76	6,50	8,50	54,51	4,7x10-3
			555,76	7,50	8,50	101,64	6,9x10-3
			554,85	8,50	12,00	1,93	2,0x10-4
			551,26	12,00	15,00	1,29	1,3x10-4
			548,26	15,00	18,00	1,04	1,0x10-4
			545,26	18,00	21,00	3,65	3,6x10-4
			542,26	21,00	24,00	2,59	2,5x10-4
			539,26	24,00	27,00	2,05	2,0x10-4
563,26	27,00	30,00	2,57	2,5x10-4			
SM-08	52	571,31	561,81	9,50	12,50	0,80	7,8x10-5
			558,81	12,50	15,50	3,41	3,2x10-4
			555,81	15,50	18,50	3,99	3,9x10-4
			552,81	18,50	21,50	4,67	4,5x10-4
			549,81	21,50	24,50	6,16	6,0x10-4
			546,81	24,50	27,50	0,33	3,2x10-5
			543,81	27,50	30,00	1,71	1,6x10-4
SM-09	60	569,13	561,83	2,30	6,04	46,24	4,5x10-3
			565,83	3,30	5,30	0,07	5,9x10-6
			563,83	5,30	8,30	0,13	1,2x10-5
			560,83	8,30	11,07	0,17	1,6x10-5
			558,06	11,07	13,77	3,27	3,1x10-4
			555,36	13,77	17,00	0,17	1,7x10-5
			552,13	17,00	20,00	0,13	1,3x10-5
			549,13	20,00	23,00	0,15	1,5x10-5
			546,13	23,00	26,20	0,17	1,7x10-5
542,93	26,20	30,00	0,46	4,7x10-5			
SM-10	68	564,95	581,22	5,00	8,00	39,65	4,1x10-3
			580,22	6,00	9,00	0,51	5,0x10-5
			578,22	9,00	12,00	0,67	6,5x10-5
			575,22	12,00	15,00	0,16	1,6x10-5
			572,22	15,00	18,00	4,51	4,4x10-4
			569,22	18,00	21,00	3,93	3,8x10-4
			566,22	21,00	24,00	0,33	3,2x10-5
			563,22	24,00	27,00	0,92	9,0x10-5
560,22	27,00	30,20	1,13	1,1x10-4			
SM-11B	76+17	579,09	577,05	2,04	5,04	34,47	3,4x10-3
			576,05	3,04	5,04	44,06	3,8x10-3
			575,05	4,04	5,04	106,65	7,3x10-3
			574,05	5,04	8,04	22,70	2,2x10-3
			573,05	6,04	8,04	32,46	2,8x10-3
			572,05	7,04	8,04	39,66	2,4x10-3
			571,05	8,04	11,04	3,89	3,8x10-4
			568,05	11,04	14,04	4,18	4,1x10-4
			566,05	13,04	14,04	1,50	1,0x10-4
			565,05	14,04	17,04	1,26	5,5x10-5
			562,05	17,04	20,04	1,03	4,5x10-5
			559,09	20,04	23,04	0,57	2,5x10-5
			556,05	23,04	26,04	2,37	1,0x10-4
553,05	26,04	30,04	4,07	2,1x10-4			
552,05	27,04	30,04	5,04	2,2x10-4			
SM-12	82+00 (Eixo)	582,42	580,22	2,20	5,20	21,92	2,1x10-3
			578,92	3,50	6,50	27,75	2,7x10-3
			575,92	6,50	9,50	11,94	1,2x10-3
			572,92	9,50	12,50	4,67	4,5x10-4

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
			569,92	12,50	15,50	1,14	1,1x10 ⁻⁴
			566,92	15,50	18,50	1,00	9,8x10 ⁻⁵
			563,42	19,00	21,70	0,54	2,2x10 ⁻⁵
			560,72	21,70	24,70	8,58	3,7x10 ⁻⁴
			559,72	22,70	24,70	0,93	3,1x10 ⁻⁵
			557,72	24,70	27,70	0,46	2,0x10 ⁻⁵
SM-13	92+10 (Eixo)	596,57	554,72	27,70	30,50	0,46	1,9x10 ⁻⁵
			594,57	2,00	5,00	12,87	1,3x10 ⁻³
			593,57	3,00	5,00	36,67	3,2x10 ⁻³
			592,57	4,00	5,00	29,79	2,0x10 ⁻³
			591,57	5,00	8,00	10,95	1,1x10 ⁻³
			590,57	6,00	8,00	9,39	8,1x10 ⁻⁴
			588,57	8,00	11,00	9,54	9,3x10 ⁻⁴
			587,57	9,00	11,00	17,91	1,6x10 ⁻³
			586,57	10,00	11,00	19,78	1,4x10 ⁻³
			583,57	13,00	16,00	0,62	6,1x10 ⁻⁵
			580,07	16,50	19,50	0,44	1,9x10 ⁻⁵
			576,57	20,00	23,00	0,42	1,9x10 ⁻⁵
573,57	23,00	26,50	0,39	1,9x10 ⁻⁵			
570,07	26,50	30,00	0,12	5,7x10 ⁻⁶			
SM-23	12+00 (60 m jus)	504,97	495,97	9,00	2,30	11,43	1,4 x 10 ⁻⁴
SM-24	16+00 (eixo)	499,94	495,94	4,00	7,00	16,75	1,6 x 10 ⁻³
			492,94	7,00	10,00	0,23	2,2 x 10 ⁻⁵
			489,94	10,00	13,00	0,85	8,2 x 10 ⁻⁵
			486,94	13,00	16,00	0,68	6,7 x 10 ⁻⁵
			483,94	16,00	18,20	0,93	8,3 x 10 ⁻⁵

3.3.2 Investigação do Sangradouro

3.3.2.1 Sondagens Mistas

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

Ao longo do eixo e do eixo e dos canais de aproximação e restituição foram realizadas 10 sondagens mistas, com 102,18 m, sendo 2,95 m com percussão e 99,23 m com sonda rotativa.

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

No **Quadro 3.4** são apresentadas as sondagens mistas realizadas na região do sangradouro.

Quadro 3.4 - Investigação Geotécnica da Barragem Lontras- Sangradouro

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	EMPRESA
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SMB-7	2+00	9.499.647	282.684	534,47	2,16	12,84	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-8	0	9.499.669	282.647	542,89	1,40	18,60	Arenito	TECNORD
SMB-10	-2	9.499.689	282.612	548,7	0,43	21,07	Arenito c/ intercalações siltito	STS
SMB-17	0 (150m JUSANTE)	9.499.534	282.581	519,8	0,60	24,40	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-18	-2 (50m JUSANTE)	9.499.645	282.588	537,57	0,51	14,69	Arenito c/ intercalações siltito	STS
SMB-19	0(70m JUSANTE)	9.499.730	282.681	522,18	-	20,00	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-20	0(50m JUSANTE)	9.499.625	282.622	534,76	2,10	13,00	Arenito c/ intercalações siltito	TECNORD
SMB-21	2+00(50m JUSANTE)	9.499.606	282.657	528,44	-	10,00	Arenito	TECNORD
SMB-22	0(90m JUSANTE)	9.499.590	282.602	526,86	1,10	8,90	Arenito	TECNORD
SMB-25	0(280m JUSANTE)	9.499.425	282.509	514,01	1,30	11,00	Arenito	TECNORD

3.3.2.2 Ensaios de Campo

Nas sondagens mistas foram executados ensaios de perda de água sob pressão (ensaio lugeon), sendo apresentado no quadro **Quadro 3.5**, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no **Tomo 4 A**.

Quadro 3.5 Ensaios de Perda D'água -Sangradouro

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
SM-14	13+12,35 (115,65m Montante)	608,88	605,38	3,50	6,47	182,34	1,8x10 ⁻²
			604,38	4,50	6,47	419,82	3,6x10 ⁻²
			602,41	6,47	9,47	525,56	5,1x10 ⁻²
			601,41	7,47	9,47	36,86	1,2x10 ⁻³
			600,41	8,47	9,47	3,32	2,3x10 ⁻⁴
			599,41	9,47	12,00	1,98	1,8x10 ⁻⁴
SM-16	13+3,96 (0,85m Jusante)	606,78	601,28	5,50	8,50	12,56	1,2x10 ⁻³

Furo	Estaca	Cota(m)		Profundidade (m)		PE (l/min/m/kg/cm ²)	K (cm/s)
		Boca do Furo	Obt.	Superior	Inferior		
			598,28	8,50	10,50	2,16	1,9x10 ⁻⁴
			596,28	10,50	12,00	21,81	1,7x10 ⁻³
SM-19	16+16,07 (2,42m Jusante)	601,64	599,46	2,18	5,18	45,87	4,5x10 ⁻³
			598,46	3,18	5,18	88,46	7,7x10 ⁻³
			597,46	4,18	5,18	143,34	9,8x10 ⁻³
			596,28	5,18	8,18	41,15	4,0x10 ⁻³
			593,46	8,18	11,18	0,51	2,2x10 ⁻⁵
			590,28	11,18	14,18	4,18	1,8x10 ⁻⁴
SM-25	0 + 0 (180 m Jusante)	514,01	512,61	1,40	4,40	4,12	4,0 x 10 ⁻⁴
			509,61	4,40	7,30	2,12	2,1 x 10 ⁻⁴
			506,71	7,30	10,30	3,25	3,2 x 10 ⁻⁴
			503,71	10,30	12,30	62,61	>5,4x10 ⁻³

3.3.3 Levantamento geofísico

As técnicas geofísicas foram especialmente escolhidas, pois permitem investigar a subsuperfície ao longo de perfis (linhas de estudos), de modo a fornecer uma imagem da distribuição dos materiais que a compõem, possibilitando inferir o contato entre solos/rocha e eventuais estruturas geológicas tipo falhas/fraturas/alterações objetivando otimizar a campanha de investigação direta ou antever eventuais porções da subsuperfície que possam representar dificuldades ao projeto.

Neste sentido, a campanha geofísica contratada pelo Consórcio Projetista à empresa especializada **ALTA RESOLUÇÃO Geologia e Geofísica**, foi realizada através da implantação de dois alinhamentos os quais foram levantados pela técnica eletrorresistiva (Seções de Imageamento Geométrico) e pela técnica sísmica (Sísmica de Refração). Os alinhamentos geofísicos foram definidos de forma a investigar a área de interesse do projeto conforme planta de localização em anexo a este relatório.

Deve-se se ter em mente, todavia, que a integração de métodos geofísicos é importante para se obter um melhor imageamento da subsuperfície, uma vez que as propriedades físicas dos estratos litológicos podem ser melhores mapeados dependendo da metodologia aplicada, ou seja, os métodos, neste projeto, utilizados são complementares.

3.3.3.1 Levantamentos realizados

A programação dos trabalhos geofísicos bem como os posicionamentos dos alinhamentos de investigação foi definida pela CONTRATANTE, totalizando **quatro alinhamentos**. Barragem Lontras (Eixo do Barramento, Eixo do Vertedouro, Jusante e Montante). Nesses

alinhamentos foram executados os levantamentos utilizando as técnicas eletroresistiva (**Seções de Imageamento Geoelétrico**) e sísmica (**Sísmica de Refração**).

A medição total, contabilizando o levantamento das duas técnicas, pode ser encontrada no **Quadro 3.6** abaixo.

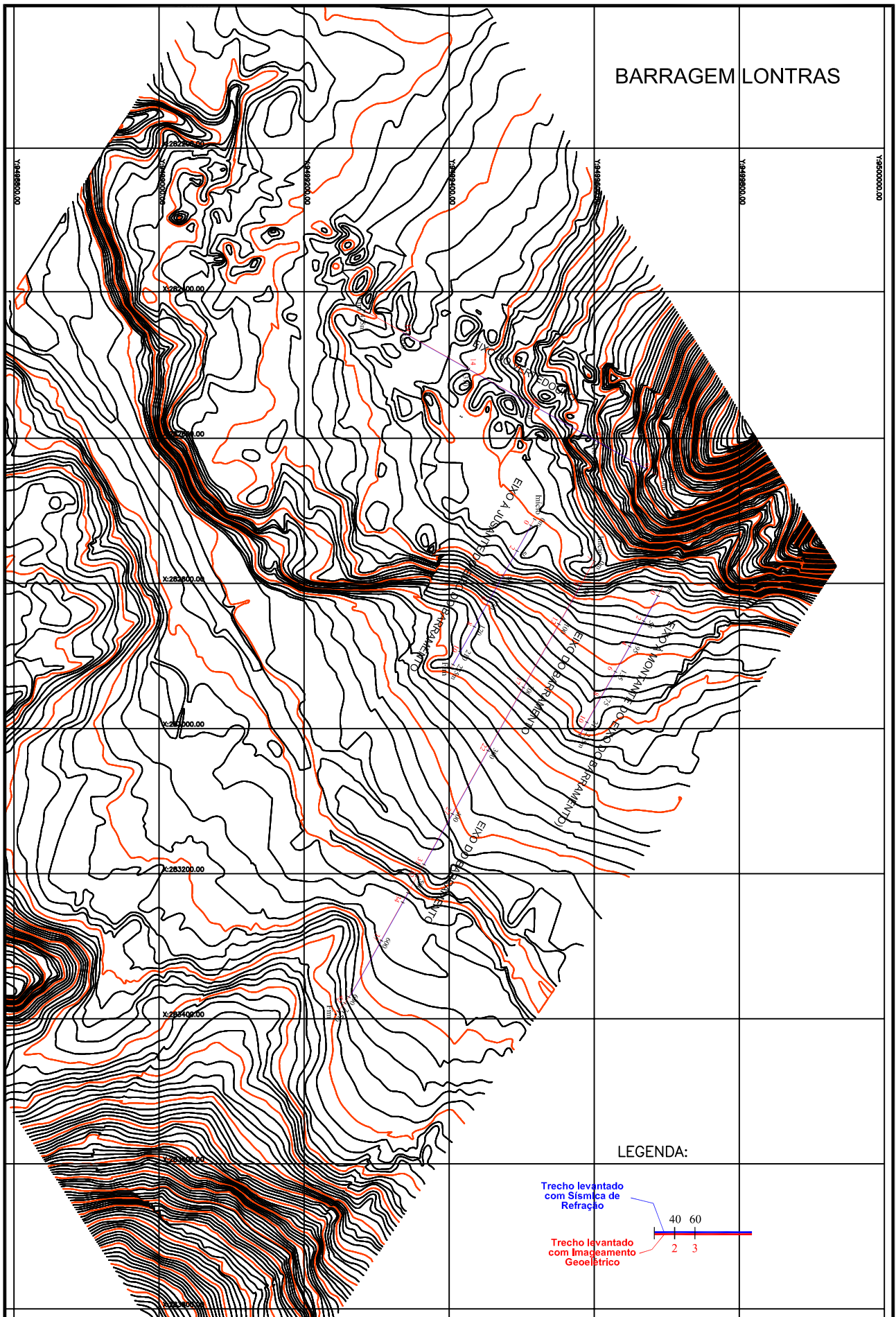
Quadro 3.6 - Seções Geoelétricas e Sísmicas efetivamente executadas e suas respectivas extensões (m).

Barragem	Eixo	Seção Geoelétrica Extensão (m)	Seção Sísmica Extensão (m)
Lontras	Barramento	715	605
Lontras	Vertedouro	475	385
Lontras	Jusante	235	220
Lontras	Montante	235	220
Total		1.690	1.430

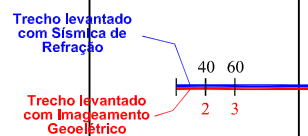
O montante total foi de 1.690 metros lineares de seções geoelétricas e 1.430 metros lineares de seções sísmicas.

Na **Figura 3.3** é apresentado a localização das seções que foram realizadas os ensaios de eletroresistiva e sísmica.

BARRAGEM LONTRAS



LEGENDA:



3.3.3.2 Documentação fotográfica

Alguns procedimentos de campo e as principais feições do local investigado foram fotografados e são apresentados a seguir.



Figura 3.4 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e afloramentos.

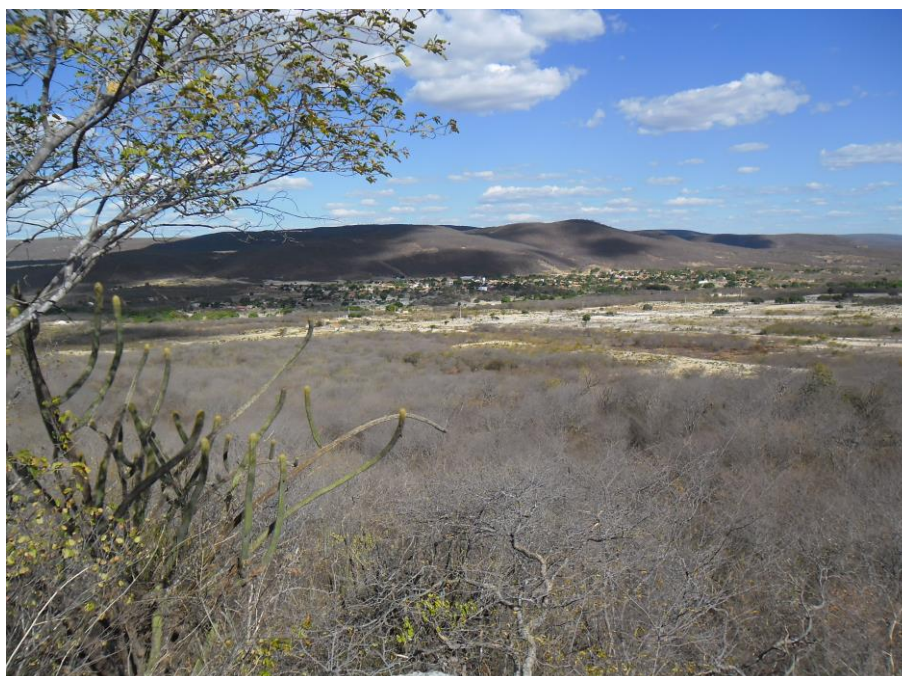


Figura 3.5 - Feição geral da área de estudos, com vegetação característica e a cidade de Croatá - CE ao fundo na imagem.



Figura 3.6 - Equipamento de aquisição de dados geoeletricos SYSCAL PRO de 48 canais conectado aos cabos multieletrodos e à bateria.



Figura 3.7 - Instalação do eletrodo de "Papel alumínio" visando melhorar o acoplamento galvânico com o solo.



Figura 3.8 - Detalhe do eletrodo de “Papel alumínio” conectado ao cabo multielestrodo.



Figura 3.9 - Detalhes de blocos de rochas aflorante.



Figura 3.10 - Membro da equipe estendendo o cabo sismográfico e acoplando os geofones.



Figura 3.11 - Detalhe do cabo sismográfico e de um dos geofones instalados ao longo do alinhamento.



Figura 3.12 - Equipamento sísmico (Geode – Geometrics Inc.) e técnico da Alta Resolução acompanhando a aquisição de dados.

3.3.3.3 Resultados do levantamento

Todas as seções foram demarcadas em campo com uso de estacas topográficas a cada 20 m. Estas posições foram utilizadas para a construção das plantas de localização das seções, bem como na geração dos modelos sísmicos e geolétricos.

Os resultados obtidos pelos processos interpretativos geraram como produtos finais as Seções Sísmicas e Seções de Imageamento Geolétrico. Estes documentos são desenhos autoexplicativos e contém:

- **Seções Sísmicas:** Superfície topográfica, as delimitações dos estratos sísmicos interpretados, as velocidades sísmicas obtidas, as tabelas com as espessuras e as legendas explicativas;
- **Seções Geolétricas:** Superfície topográfica, os intervalos de resistividades elétricas associados a uma escala cromática, as principais feições geolétricas delimitadas, interpretadas e apresentadas nas legendas dos desenhos.

Para sintetizar as informações apresentadas nas seções individuais de cada técnica geofísica, também foram compiladas as Seções Geofísicas que apresentam, numa única prancha de desenhos, as informações fornecidas pela Sísmica de Refração, Imageamento Geolétrico bem como as Sondagens Mistas.

Imageamento geolétrico (anexo 2 – desenhos 2i)

Como citado no item 2, as Seções de Imageamento Geolétrico (SIG) são resultantes de um processo de inversão 2-D e buscam estabelecer um modelo da provável distribuição real dos valores e posições das resistividades elétricas em subsuperfície.

Foi empregado o método eletrorresistivo de modo a gerar uma imagem da subsuperfície em termos das propriedades elétricas dos materiais. O parâmetro medido é a resistividade elétrica do meio, sendo a unidade de medida da propriedade resistividade elétrica expressa por Ohm.m. É recorrente em levantamentos geofísicos por Imageamento Geolétrico encontrar valores da ordem de unidades de Ohm.m até dezenas de milhares de Ohm.m, de acordo com as variações litológicas existentes em subsuperfície.

O Imageamento Geolétrico possibilitou a investigação do interior dos maciços terrosos/rochosos e evidenciou significativos contrastes nas resistividades elétricas

permitindo o mapeamento em profundidades da ordem de até 40 m. De uma forma geral, nas duas Seções Geométricas investigadas, apresentaram um comportamento geométrico bastante semelhante e pelos valores apresentados os estratos geométricos foram classificados da seguinte maneira:

- 1 Estrato de alta resistividade elétrica, valores acima de 5.000 a >20.000 Ohm.m – tons avermelhados;
- 2º Estrato de intermediária resistividade elétrica, valores entre 500 e 5.000 Ohm.m;
- 3º Estrato de baixa resistividade, valores variando de unidades de Ohm.m até 500 Ohm.m;

A seguir serão tecidos algumas considerações sobre cada uma das SIG's.

SIG do Eixo do Barramento

Esta SIG possui 715 m de extensão. Ao longo do alinhamento foram realizadas cinco sondagens mecânicas, a saber: SM-09, SM-11, SM-12, SM-03, SM-13. Todas elas foram lançadas no perfil nas suas respectivas posições.

Nesta SIG foram registrados intensos contrastes de resistividade desde a superfície até a máxima profundidade de investigação, entorno de 35 m abaixo da superfície topográfica.

No início da SIG, entre as estacas E7 e E9, foi mapeada uma pequena lente superficial de altíssima resistividade, mas logo foi estabelecido um abrupto contato geométrico, passando de alta para baixíssima resistividade elétrica.

Com exceção dessa pequena lente de alta resistividade, pode-se considerar que no intervalo compreendido entre as estacas E7 e E14 houve um predomínio absoluto do estrato de baixa resistividade, interessante que este estrato perdura desde a superfície até a máxima profundidade de investigação.

Na estaca E10 (Progressiva 100 m) foi realizada a sondagem SM-09. O boletim da SM-09 descreve um material bastante heterogêneo, composto por blocos de rocha fragmentados de rocha, ainda existe uma passagem de solo de alteração, enfim o material é descrito como sendo de baixa porcentagem de RQD, com grau de alteração entre A3 e A5 e grau de

faturamento F5. Ressalta-se que neste local foi registrado os menores valores de resistividade de toda a SIG, com valores sempre abaixo de 50 Ohm.m. Saliente-se que, somente nas SIG's paralelas realizadas a jusante e montante, realizadas a 100 m de cada lado do Eixo do Barramento, também registraram valores dessa ordem de grandeza. Desta forma, pressupõe que haja uma continuidade lateral desse material de baixa resistividade, podendo ser um grande lineamento geológico de falhamento.

A partir da estaca E13 até o final da SIG um fino estrato de alta resistividade elétrica foi mapeado próximo da superfície. Porém, na porção central da SIG, mais precisamente entre as estacas E20 e E31 (Progressiva 260 e 480 m) esse estrato superficial se aprofunda, formando uma região bastante heterogênea do ponto de vista geológico, onde o estrato de alta resistividade elétrica prevalece, mas também existem lentes de baixa resistividade inseridas.

Próximo da estaca E20 um abrupto contato geológico subverticalizado foi registrado, passando de estratos de baixa para alta resistividade elétrica. Exatamente na interface desse contato geológico foi realizada a SM-11, a qual parou 20,1 m abaixo da superfície. Observando as informações do boletim da sondagem, nota-se que a composição litológica do material é o mesmo nesses 20,1 m, porém os outros parâmetros, como grau de fraturamento, o R.Q.D da rocha e principalmente o grau de coerência, são muito variáveis.

O grau de coerência, por exemplo, tem passagens de C3 (pouco coerente) para C1 (Coerente) sem uma transição para C2. De maneira que, muito provavelmente, a heterogeneidade no comportamento geomecânico da rocha arenítica tenha influenciado sobremaneira os valores de resistividade elétrica. Nesse caso, pela correlação com a informação da sondagem pressupõe-se que os locais com as maiores resistividades estejam refletindo os locais onde a rocha arenítica esteja mais preservada, mais densa, com menor grau de porosidade/permeabilidade, enquanto os locais de baixa resistividade sejam reflexos da maior alteração sofridas pelo material rochoso, e possivelmente também da maior concentração d'água nos seus poros intersticiais da rocha.

Outra sondagem posicionada na região central de alta resistividade foi a SM-12. Situada na estaca E26 (Progressiva 380 m), o boletim da SM-12 evidencia um material mais homogêneo e os parâmetros físicos refletem a presença de um material mais preservado e coerente, quando comparado a SM-11. Contudo ainda existem, principalmente nos primeiros 10 m, trechos com baixa porcentagem do R.Q.D, um pequeno intervalo com grau de coerência C3 e grau de fraturamento F5. A presença de uma feição de baixa resistividade,

totalmente inserida nessa região de alta resistividade, mapeada entre as estacas E25 e E26 (Progressivas 360 e 380 m) pode estar refletindo a região mais alterada do maciço rochoso nesse local.

Nota-se que nessa região central, embora haja predomínio do estrato de alta resistividade, ainda há significativas variações. Prova disso pode ser encontrada abaixo da estaca E27, onde existe um estrato geoeletrico com resistividade elétrica entre 500 e 1.000 Ohm.m (tons de amarelo) separando duas porções de alta resistividade elétrica.

A partir da estaca E30, até o final da SIG, na estaca E42, o estrato de alta resistividade passa a ser encontrado somente em pequenas lentes próximo da superfície. Nesse trecho que se estende da Progressiva 460 até 715 m, ou seja, 255 m de extensão houve um predomínio do estrato geoeletrico com valor entre 200 e 500 Ohm.m (cor esverdeada) com restritas regiões com valores entre 50 e 200 Ohm.m (tons de azul) e entre 500 e 1.000 Ohm.m (tons de amarelo). Nesse intervalo três sondagens mecânicas foram realizadas a saber: SM-03, SM-13, SM-14.

A SM-03 o material é descrito como arenito e classificado com grau de coerência C2 praticamente desde os 3,55 m da superfície até a profundidade máxima de perfuração que foi de 30,3m. Essa sondagem situa-se posicionada exatamente na estaca E32-5m, onde o intervalo de resistividade foi de 200 a 500 Ohm.m por toda sua extensão, o que de certo modo, nos permite pressupor que esse mesmo tipo litológico e comportamento geomecânico apresentado na SM-03 se estendam até o final da SIG. E isso, em parte é comprovado pelas SM-13 e SM-14 as quais se apresentam muito parecidas com a SM-03, talvez ligeiramente menos coerente, com algumas passagens classificadas como C4 (rocha com material incoerente) e também e menor porcentagem do R.Q.D.

Para finalizar, chama a atenção o corpo de alta resistividade elétrica mapeado entre as estacas E15 e E18 (Progressiva 160 e 220 m) da SIG. Este corpo encontra-se totalmente envolvido por um estrato de baixa resistividade. A princípio esse corpo deve apresentar as mesmas características daquelas encontradas na região central e descritas pelas sondagens SM-11 e SM-12, de qualquer maneira, como a assinatura típica de uma cavidade vazia é uma anomalia de altíssima resistividade envolta por um estrato de menor resistividade, recomenda-se que seja realizada ao menos uma sondagem mecânica, preferencialmente onde situa a estaca E16, de forma a dirimir qualquer probabilidade da feição geoeletrica de alta ser devido a uma grande cavidade.

SIG do Eixo do Vertedouro

Esta SIG possui 475 m de extensão e sentido de realização de NE- SW, ou seja, de montante para jusante (vide Desenho 1L). Existem quatro sondagens mecânicas próximas, porém, fora do alinhamento do Eixo. A projeção delas foram lançadas no perfil.

As considerações sobre esta SIG podem ser divididas em duas partes, a primeira do início até a estaca E11-5m (Progressiva 245 m), e a segunda da estaca E11-5m até o final (Progressiva 245 m até 475 m).

Na metade inicial da SIG foram mapeados dois estratos geelétricos bem definidos. O primeiro corresponde a uma fina camada de altíssima resistividade elétrica superficial, com valores sempre acima de 5.000 Ohm.m e atingindo valores superiores a 20.000 Ohm.m. A espessura desse primeiro estrato geelétrico ficou entorno de 5 m. O segundo estrato foi mapeado logo abaixo e se estendeu até a máxima profundidade de investigação, o valor predominante ficou entre 200 e 500 Ohm.m (tons de verde) e entre 500 e 1.000 Ohm.m (tons de amarelo).

As quatro sondagens próximas, SM-08, SM-20, SM-22 e SM-17, situam nessa primeira metade da SIG. Em todas elas foi descrita como rocha arenítica e tiveram elevada recuperação conforme demonstrado pela alta porcentagem do R.Q.D, o grau de coerência em todas elas variou bastante com a profundidade, possuindo desde trechos classificados como C1 até C5 e o quanto ao grau de fraturamento, de modo geral, se mostrou pouco fraturado, todas elas classificadas como F1 e F2. Desta forma, pressupõe-se que a diferenciação ocorrida entre o estrato de alta resistividade, mapeado na porção superficial do terreno, para o estrato geelétrico de baixa resistividade, localizado logo abaixo, seja em decorrente da maior ou menor concentração d'água nos poros intersticiais da rocha arenítica. Tal pressuposto se torna ainda mais plausível quando observado que o estrato de alta resistividade superficial está praticamente todo inserido na camada de baixa velocidade sísmica V1, ou seja, alta resistividade não está correlacionada ao material mais resistente do ponto de vista geomecânico, enquanto o estrato geelétrico de baixa resistividade apresenta-se com intervalo de velocidade V2 e V3, considerado um material mais coerente, de maior resistência mecânica.

A metade final inicia-se na estaca E11-5m, quando um abrupto contato geelétrico subverticalizado foi mapeado, passando de um estrato de baixa resistividade para um estrato de altíssima resistividade em poucos metros. A partir dessa estaca houve um

predomínio do estrato de alta resistividade, com valores acima de 5.000 Ohm.m e superando os 20.000 Ohm.m em determinados trechos. Chamou a atenção a redução na resistividade elétrica abaixo da estaca E16, praticamente subdividindo a região de alta resistividade em duas partes. A princípio, no trecho abaixo da estaca E16, é de se esperar que o material encontre-se mais alterado do que nas porções laterais, onde o material aprestou maior resistividade. Praticamente toda essa segunda metade da SIG a camada de baixa velocidade V1 deixou de existir, sendo o material desde muito próximo da superfície com velocidade V2 e um pouco mais abaixo com velocidade V3. Neste caso, reforça o pressuposto que o estrato de alta resistividade que se aprofunda até a máxima profundidade de investigação seja um reflexo da rocha arenítica estar mais preservada, mais densa, onde a porosidade/permeabilidade da rocha seja menor e o fator água não foi determinante para que houvesse uma redução na resistividade elétrica da rocha arenítica.

SIG do Eixo do Vertedouro

Esta Seção foi realizada paralela ao Eixo do Barramento, também foi realizada no sentido NW-SE. Possui extensão de 235 m e seu início está praticamente alinhando com o início da SIG do Barramento, de maneira que varreu o terreno paralelamente ao Eixo do Barramento nos seus primeiros 235 m.

Nota-se ao longo de toda a seção um predomínio absoluto de valores de baixíssima a baixa resistividade (tons de azul) sendo interrompidos somente nos primeiros 60 m por pequenas lentes superficiais, em trechos isolados da SIG, com valores de intermediária resistividade elétrica.

Interessante notar que valores considerados de baixíssima resistividade estão semi-aflorando entre as estacas E5 e E9, sendo uma excelente oportunidade de observação “in-loco” do tipo de material que deve estar ocasionando esses baixos valores de resistividade elétrica.

Outra observação cabível é que, mesmo distante de aproximadamente 100 m do Eixo do Barramento, os baixos valores também foram registrados na porção inicial da SIG do Barramento, conforme já foi discutido e também foram registradas na SIG realizada a montante do Barramento. Tal observação permite pressupor que uma vasta área do terreno possua o mesmo tipo de material, e se isso for verdadeiro devem apresentar o mesmo comportamento revelado pela sondagem SM-09.

Por fim, somente nos níveis mais profundos da investigação registrou um ligeiro aumento nos valores da resistividade elétrica, possivelmente associado a alguma mudança litológica ou ao comportamento geomecânico do material rochoso.

SIG MONTANTE (Desenhos 3L e 7L)

Esta Seção Geométrica foi realizada a montante do Barramento, possui 235 m de extensão e também foi realizada no sentido NW-SE. Ela teve seu início praticamente alinhado e seguiu paralelo com as SIG's do Eixo do Barramento e com a SIG Jusante.

Novamente houve um predomínio absoluto dos estratos de baixíssima a baixa resistividade, valores de 0 a 50 Ohm.m e 50 a 200 Ohm.m, respectivamente (tons de azul). Próximos da superfície foram registradas delgadas lentes de material com intermediária resistividade, valores entre 1.000 e 5.000 Ohm.m. Assim como na SIG Jusante, somente nos níveis mais profundos foi registrado um ligeiro aumento da resistividade elétrica.

3.3.4 Estudo dos Materiais Construtivos

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

Como fonte de materiais para construção da barragem foram identificadas 8 jazidas de solo misturados com blocos (J-01; J-02; J-02A; J-03; J-03A; J-04; J-04A; J-05), 2 jazidas de solo argiloso (J-09; J-10) um areal, uma pedreira de origem granítica e uma pedreira de material de arenito.

Na ocorrência J-01, distante 2,1 km para o eixo da barragem, foram realizados 90 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,80 m, demarcando uma área de 21,33 ha e um volume estimado de 153.576 m³.

Na ocorrência J-02, distante cerca de 3,60 km para o eixo da barragem, foram realizados 87 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,66 m, demarcando uma área de 87 ha e um volume estimado de 135.921 m³.

Na ocorrência J-02A, distante cerca de 4,20 km para o eixo da barragem, foram realizados 30 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 0,90 m, demarcando uma área de 54 ha e um volume estimado de 195.264 m³.

Na jazida J-03, próxima a localidade de Xique-Xique e distante 1,0 km para o eixo da barragem, foram realizadas 49 sondagens investigativas, com profundidade média de 1,83 m, demarcando uma área de 69 ha e um volume estimado de 502.372 m³.

Na ocorrência J-03A, distante cerca de 1,60 km para o eixo da barragem, foram realizados 36 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,10 m, demarcando uma área de 11,7 ha e um volume estimado de 51.524 m³.

Na ocorrência J-04, distante cerca de 11,40 km para o eixo da barragem, foram realizados 97 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,60 m, demarcando uma área de 65,60 ha e um volume estimado de 621.698 m³.

Na ocorrência J-04A, distante cerca de 9,2 km para o eixo da barragem, foram realizados 105 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,70 m, demarcando uma área de 67,4 ha e um volume estimado de 675.749 m³.

Uma área denominada jazida J-05, objeto de uma investigação exploratória, foi selecionada como reserva. Esta ocorrência situa-se a 7,00 Km do maciço, e teve demarcada uma área de 59,70 ha, com presença de solos areno argilosos, onde se estimou um volume de cerca de 608.736 m³.

Na ocorrência J-09, distante cerca de 30,20 km para o eixo da barragem, foram realizados 234 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,70 m, demarcando uma área de 98,6 ha e um volume estimado de 1.172.745 m³.

Na jazida J-10, distante 34,4 km para o eixo da barragem, foram realizadas 56 sondagens investigativas, com profundidade média de 1,70 m, demarcando uma área de 41,4 ha e um volume estimado de 493.017 m³.

Para a fonte de material para produção de brita, estudou um afloramento de rocha do tipo Gnaisse no município de Ipueiras, cerca de 35,9 km do eixo do barramento. Denominou-se este local de afloramento de Pedreira 02.

Para fonte de material pétreo destinado a possíveis volumes complementares de enrocamentos, estudou um afloramento de rocha arenítica com presença de horizontes

mais silificados, cerca de 1,9 km a montante do local da ombreira esquerda do barramento. Denominou-se este local de afloramento de Pedreira 01.

Os bancos de areia que ocorrem no rio Inhuçu, a montante da cidade de Croatá, apresentam-se com uma granulometria fina a média, no entanto a avaliação do potencial volumétrico não estimulou seu uso, nem como fonte auxiliar de suprimento. Por este motivo foi-se estudar os bancos do rio Jatobá, a jusante da cidade de Ipueiras. O areal apresenta volume suficiente para suprir as necessidades da barragem Lontras, no entanto dista cerca de 45,5 km do local das obras. No rio Jatobá foram realizados 30 poços com trado e retiradas amostras para ensaios.

A localização das jazidas em estudo, para aplicação no maciço da barragem Lontras, encontra-se apresentada na imagem seguinte.

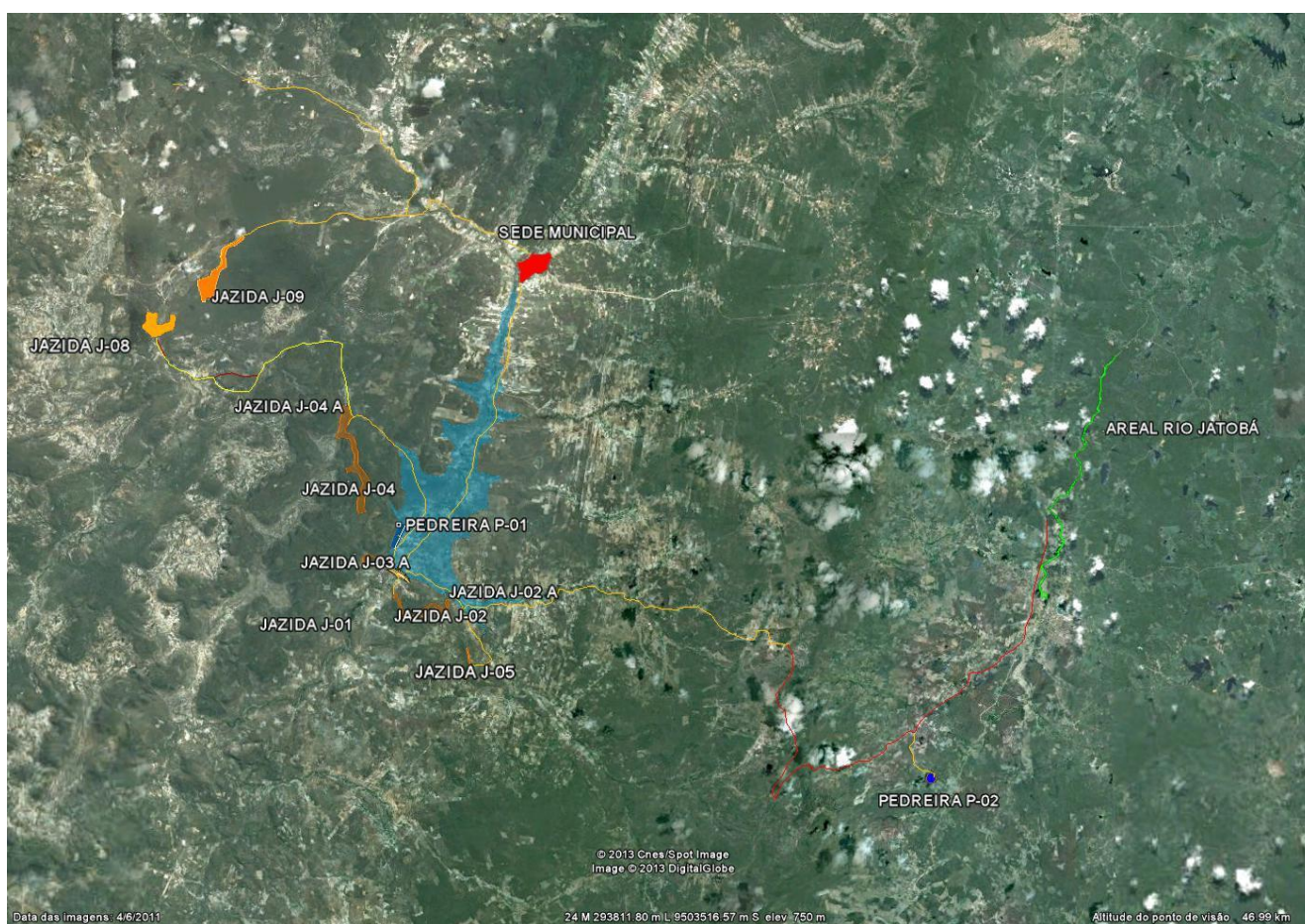


Figura 3.13 - Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Lontras

A seguir, é apresentado um quadro contendo os volumes utilizáveis e expurgáveis, bem como o volume total de material disponível nas jazidas.

Quadro 3.7 - Volume de Materiais das Jazidas

Local	Volume (m ³)		
	Utilizável	Expurgável	Total
Jazida J - 01	153.576	21.330	174.906
Jazida J - 02	135.921	20.470	156.391
Jazida J - 02A	195.264	54.240	249.504
Jazida J - 03	502.372	68.630	571.002
Jazida J - 03A	51.524	11.710	63.234
Jazida J - 04	621.698	65.580	687.278
Jazida J - 04A	675.749	67.440	743.189
Jazida J - 05	608.736	59.680	668.416
Jazida J - 08	1.016.652	254.163	1.270.815
Jazida J - 09	1.172.745	98.550	1.271.295

Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidas a campanha de ensaios geotécnicos, a saber:

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

Nos quadros a seguir são mostrados os resultados dos ensaios de laboratório.

RESUMO DOS ENSAIOS														
TRECHO: JAZIDA 01														
FURO		01	04	06	12	16	18	20	22	23	25	27	28	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	(m) ATÉ	1,45	2,30	1,00	2,20	2,20	1,10	1,30	2,00	1,80	1,30	1,60	1,50	
GRANULOMETRIA														
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		1"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	92%	92%	96%	92%	100%	95%
		3/8"	98%	98%	98%	97%	86%	97%	71%	86%	82%	89%	98%	91%
		Nº 4	97%	95%	95%	96%	72%	97%	66%	84%	78%	87%	97%	89%
		Nº 10	96%	91%	91%	95%	70%	95%	64%	83%	75%	83%	92%	88%
		Nº 40	84%	76%	71%	78%	57%	85%	54%	69%	63%	71%	78%	74%
		Nº 200	24%	49%	49%	26%	36%	49%	34%	25%	34%	48%	50%	26%
LIMITES DE ATTERBERG														
LL		30,1	35,0	35,0	31,8	35,0	32,0	35,2	34,4	36,1	35,2	34,3	31,8	
LP		20,8	21,2	21,2	22,1	23,0	20,0	23,6	24,6	24,4	21,5	20,1	22,1	
IP		9,3	13,8	13,8	9,7	12,0	12,0	11,6	9,8	11,7	13,7	14,2	9,7	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S														
HRB		A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SM/SC	SC	SC	SM/SC	SC	SC	SC	SM/SC	SC	SC	CL	SM/SC	
COMPACTAÇÃO														
Hótima (%)		15,4	14,1	14,2	15,2	12,8	14,4	14,2	14,4	12,3	13,0	15,8	13,9	
Dmáx (g/cm ³)		1.880	1.740	1.750	1.850	1.730	1.740	1.720	1.830	1.820	1.770	1.740	1.790	
UMIDADE														
Umidade de Natural		1,4	3,4	3,1	3,0	3,1	3,0	1,4	1,7	2,6	4,4	4,4	2,2	

RESUMO DOS ENSAIOS

TRECHO: JAZIDA 01

FURO		33	35	37	41	42	43	47	49	50	53	55	59	61
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
(m)	ATÉ	2,20	1,10	2,10	2,00	1,10	1,70	2,20	2,20	1,80	2,20	2,10	1,60	1,50

GRANULOMETRIA

GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		1"	96%	100%	95%	100%	96%	100%	97%	96%	100%	100%	90%	100%	88%
		3/8"	91%	96%	64%	86%	91%	98%	95%	95%	97%	87%	79%	100%	81%
		Nº 4	89%	95%	61%	85%	89%	97%	94%	94%	96%	83%	77%	99%	75%
		Nº 10	88%	94%	60%	84%	88%	96%	93%	93%	93%	80%	76%	96%	70%
		Nº 40	79%	82%	54%	72%	78%	85%	83%	83%	76%	72%	68%	80%	61%
		Nº 200	41%	48%	33%	24%	37%	37%	48%	31%	37%	25%	34%	37%	24%

LIMITES DE ATTERBERG

LL	34,2	33,2	33,2	26,2	32,0	37,0	34,0	31,4	31,8	34,4	33,2	34,3	34,0
LP	21,3	21,2	21,8	16,9	19,2	26,4	22,0	20,3	19,2	25,6	21,8	21,7	24,7
IP	12,9	12,0	11,4	9,3	12,8	10,6	12,0	11,1	12,6	8,8	11,4	12,6	9,3

CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S

HRB	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-4
CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC	SC	SM/SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC/SM	SC	SC	SC

COMPACTAÇÃO

Hótima (%)	14,4	15,2	15,1	14,9	14,4	16,2	14,7	14,2	13,5	14,0	14,2	15,4	14,8
D _{máx} (g/cm ³)	1.830	1.820	1.830	1.820	1.800	1.880	1.730	1.840	1.790	1.940	1.830	1.760	1.930

UMIDADE

Umidade de Natural	4,3	5,2	6,1	4,9	4,1	6,1	5,3	2,2	6,4	1,8	5,8	4,3	2,6
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

RESUMO DOS ENSAIOS

TRECHO: JAZIDA 01

FURO		64	69	71	72	74	71	81	84	87	90	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	X	σ	Xmín	Xmáx	
(m)	ATÉ	2,10	1,90	1,70	2,30	1,80	1,90	1,00	1,80	1,30	1,00		\square			
GRANULOMETRIA																
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	
		1"	96%	95%	100%	96%	100%	90%	100%	93%	97%	100%	96,9%	3,6%	93,7%	100,0%
		3/8"	95%	77%	97%	94%	93%	85%	97%	90%	74%	85%	89,7%	8,8%	81,7%	97,6%
		Nº 4	94%	71%	96%	91%	91%	84%	90%	82%	58%	63%	85,9%	11,6%	75,5%	96,3%
		Nº 10	93%	69%	95%	89%	89%	83%	86%	78%	55%	58%	83,7%	11,9%	73,0%	94,3%
		Nº 40	77%	63%	85%	78%	76%	71%	76%	66%	49%	45%	72,0%	10,6%	62,5%	81,5%
	Nº 200	39%	26%	47%	48%	48%	40%	27%	41%	26%	28%	36,5%	9,2%	28,2%	44,7%	
LIMITES DE ATTERBERG																
	LL	33,0	31,4	33,4	40,0	34,0	34,5	31,0	32,0	35,0	31,8	33,5%	2,3%	31,4%	35,5%	
	LP	20,2	22,1	19,9	21,0	23,0	21,3	21,4	19,2	25,6	21,2	21,8%	0,3%			
	IP	12,8	9,3	13,5	19,0	11,0	13,2	9,6	12,8	9,4	10,6	11,7%	2,0%	9,9%	13,5%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																
	HRB	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-7-6	A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-4	A-2-6	-	-	-	-	
	CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC/SM	SC	SC	SC	SC	SC/SM	SC	SC/SM	SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO																
	Hótima (%)	14,2	12,2	13,4	15,2	14,3	13,6	13,0	12,2	12,6	12,4	14,11	1,06	-	-	
	Dmáx (g/cm ³)	1.835	1.810	1.730	1.720	1.720	1.805	1.870	1.940	1.940	1.980	1814,57	72,46	-	-	
UMIDADE																
	Umidade de Natural	4,3	1,8	2,4	5,6	4,8	4,8	1,9	1,8	1,4	2,6	3,55	1,56	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS																		
TRECHO: JAZIDA 02																		
FURO		01	03	05	07	09	12	14	16	18	21	23	24	26	29	31	32	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	(m)	ATÉ	2,10	1,30	2,10	1,30	0,50	1,20	1,15	1,10	1,30	0,70	1,50	1,20	1,20	1,40	1,40	1,80
GRANULOMETRIA																		
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%		100%	100%	100%	100%	100%		100%		100%	100%	100%		100%
		1"	100%	92%		100%	100%	100%	100%	100%		96%		100%	100%	100%		100%
		3/8"	100%	73%		100%	100%	100%	100%	96%		95%		98%	94%	100%		95%
		Nº 4	99%	64%		100%	99%	100%	99%	93%		94%		95%	91%	100%		93%
		Nº 10	98%	61%		99%	96%	99%	98%	90%		93%		94%	89%	99%		92%
		Nº 40	87%	54%		90%	78%	89%	82%	76%		83%		86%	82%	89%		82%
		Nº 200	40%	26%		27%	22%	45%	36%	33%		45%		32%	23%	41%		38%
LIMITES DE ATTERBERG																		
LL		35,0	34,1		34,5	NL	40,0	36,2	33,5		32,9		34,0	34,4	40,0		35,1	
LP		23,0	24,7		24,6		26,5	24,5	21,8		19,6		22,9	25,6	26,5		22,4	
IP		12,0	9,4		9,9	NP	13,5	11,7	11,7		13,3		11,1	8,8	13,5		12,7	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																		
HRB		A-2-6	A-2-4		A-2-4	A-1-a	A-7-6	A-2-6	A-2-6		A-2-6		A-2-6	A-2-4	A-7-6		A-2-6	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC/SM		SC/SM	SM	SC	SC	SC		SC		SC	SC/SM	SC		SC	
COMPACTAÇÃO																		
Hótima (%)		14,0	15,6		15,8	13,8	15,6	14,1	15,7		14,6		13,0	14,6	14,8		12,8	
Dmáx (g/cm ³)		1.810	1.680		1.720	1.750	1.660	1.740	1.800		1.760		1.760	1.760	1.880		1.780	
UMIDADE																		
Umidade de Natural			4,3			6,3	6,8	6,1	2,8				6,9	3,5	6,2		5,7	

RESUMO DOS ENSAIOS																	
TRECHO: JAZIDA 02																	
FURO		35	38	40	42	45	48	49	52	54	56	59	61	63	65	66	
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
(m)	ATÉ	0,70	1,30	0,90	1,30	1,30	1,30	1,60	1,60	1,60	1,70	2,50	2,30	1,60	1,40	1,30	
GRANULOMETRIA																	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%				100%			100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		1"	100%				95%			98%	86%	95%	94%	100%	98%	100%	100%
		3/8"	99%				77%			94%	84%	78%	89%	94%	89%	100%	95%
		Nº 4	97%				71%			91%	77%	71%	87%	92%	74%	100%	94%
		Nº 10	96%				68%			88%	76%	68%	85%	91%	66%	98%	93%
		Nº 40	85%				61%			79%	59%	60%	78%	81%	57%	85%	86%
		Nº 200	38%				27%			36%	25%	28%	41%	38%	31%	49%	44%
LIMITES DE ATTERBERG																	
LL		34,0				34,1			31,8	34,0	36,3	29,8	35,0	35,4	34,1	29,7	
LP		22,9				23,6			19,2	24,7	25,4	16,1	23,0	24,2	20,0	16,1	
IP		11,1				10,5			12,6	9,3	10,9	13,7	12,0	11,2	14,1	13,6	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																	
HRB		A-2-6				A-2-6			A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	A-2-6	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC				SC			SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	
COMPACTAÇÃO																	
Hótima (%)		14,6				13,6			16,1	14,2	13,4	15,3	15,3	13,0	16,0	15,6	
Dmáx (g/cm ³)		1.920				1.860			1.760	1.700	1.870	1.690	1.770	1.720	1.680	1.810	
UMIDADE																	
Umidade de Natural		4,9				4,0			6,7	3,5	6,8	2,6	2,3	4,0	7,2	4,1	

RESUMO DOS ENSAIOS															
TRECHO: JAZIDA 02A															
FURO		02	07	09	14	18	22	25	26	29	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE (m)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10					
	ATÉ	0,60	1,20	0,70	1,20	1,20	0,70	1,20	0,70	1,20					
GRANULOMETRIA											X	σ	X _{min}	X _{máx}	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-
		1"	100%	100%	97%	95%	100%	100%	89%	100%	100%	97,9%	3,8%	94,5%	100,0%
		3/8"	99%	95%	81%	91%	91%	95%	82%	97%	99%	92,2%	6,7%	86,2%	98,3%
		Nº 4	97%	82%	65%	90%	62%	92%	79%	89%	98%	83,8%	13,1%	72,1%	95,5%
		Nº 10	94%	77%	57%	89%	55%	89%	78%	82%	97%	79,8%	15,1%	66,2%	93,3%
		Nº 40	80%	63%	51%	73%	47%	79%	72%	74%	87%	69,6%	13,4%	57,5%	81,6%
		Nº 200	35%	32%	25%	37%	25%	37%	27%	27%	37%	31,3%	5,3%	26,5%	36,1%
LIMITES DE ATTERBERG															
LL		31,2	35,0	26,2	35,0	35,1	34,0	31,4	31,8	31,8	32,4%	2,8%	29,8%	34,9%	
LP		19,3	24,3	16,9	23,2	25,7	22,1	21,7	22,2	19,1	21,6%				
IP		11,9	10,7	9,3	11,8	9,4	11,9	9,7	9,6	12,7	10,8%	1,3%	9,6%	12,0%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S															
HRB		A-2-6	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-4	A-2-6	A-2-4	A-2-4	A-2-6	-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO															
Hótima (%)		14,6	14,2	13,7	15,0	13,8	14,1	13,6	13,4	14,2	14,07	0,51	-	-	
D _{máx} (g/cm ³)		1.850	1.790	1.900	1.790	1.750	1.830	1.670	1.890	1.810	1808,89	71,14	-	-	
UMIDADE															
Umidade de Natural		2,8	2,7	2,8	3,4	4,6	3,9	2,5	2,2	3,7	3,18	0,77	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS														
TRECHO: JAZIDA 03														
FURO		01	05	07	09	11	13	16	18	19	20	21	23	
PROFUNDIDADE (m)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	ATÉ	1,80	2,10	1,10	1,70	1,70	2,00	1,70	1,90	2,30	2,30	1,00	2,40	
GRANULOMETRIA														
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"												
		1"	100%	100%	100%	97%	100%	100%	97%	100%	100%	100%	94%	100%
		3/8"	98%	100%	98%	95%	96%	99%	91%	100%	100%	80%	87%	91%
		Nº 4	83%	98%	97%	92%	92%	98%	85%	100%	100%	74%	85%	87%
		Nº 10	75%	96%	96%	89%	89%	97%	82%	98%	99%	73%	84%	56%
		Nº 40	57%	86%	86%	79%	77%	86%	72%	87%	88%	65%	77%	55%
	Nº 200	27%	43%	46%	48%	27%	39%	31%	33%	27%	45%	26%	28%	
LIMITES DE ATTERBERG														
	LL	36,8	32,0	36,2	34,0	32,2	35,0	33,8	36,3	34,4	31,6	32,0	28,4	
	LP	26,4	19,3	22,4	20,1	22,1	22,2	22,9	25,4	24,1	18,2	22,1	18,6	
	IP	10,4	12,7	13,8	13,9	10,1	12,8	10,9	10,9	10,3	13,4	9,9	9,8	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S														
	HRB													
	CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SM/SC	SC	SC	SC	SM	SC/SM	
COMPACTAÇÃO														
	Hótima (%)	13,4	14,1	16,3	14,1	13,8	12,7	14,2	14,2	15,3	13,7	16,1	13,5	
	Dmáx (g/cm ³)	1.742	1.865	1.760	1.830	1.760	1.860	1.800	1.790	1.730	1.820	1.760	1.850	
UMIDADE														
	Umidade de Natural	2,8	3,4	5,2	4,3	1,8		2,2	3,0		4,3	4,1		

RESUMO DOS ENSAIOS																				
TRECHO: JAZIDA 03																				
FURO		25	28	29	30	32	34	36	38	40	41	42	44	47	49	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	2,40	1,50	1,90	1,90	1,80	1,90	1,70	1,60	2,00	1,70	2,00	1,50	1,20	1,20					
GRANULOMETRIA																X	σ	Xmín	Xmáx	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"														-	-	-	-	
		1"		100%	100%	100%	100%		93%	100%	100%	100%	100%	96%		100%	99,0%	2,1%	97,1%	100,0%
		3/8"		78%	97%	98%	100%		75%	100%	83%	83%	99%	95%		100%	93,2%	8,1%	85,9%	100,0%
		Nº 4		64%	96%	95%	97%		68%	99%	78%	74%	98%	87%		99%	89,0%	10,9%	79,1%	98,8%
		Nº 10		55%	94%	94%	96%		67%	98%	77%	69%	94%	85%		98%	85,3%	13,7%	73,0%	97,6%
		Nº 40		48%	84%	83%	84%		60%	89%	69%	55%	81%	71%		90%	75,2%	12,8%	63,7%	86,7%
		Nº 200		27%	41%	38%	45%		31%	33%	27%	24%	24%	27%		34%	33,5%	7,9%	26,5%	40,6%
LIMITES DE ATTERBERG																				
LL			37,0	34,7	37,2	41,0		30,3	31,5	35,0	30,3	34,0	31,6		37,4	34,0%	2,9%	31,4%	36,7%	
LP			27,1	21,7	24,4	27,5		19,2	20,3	24,2	21,8	24,9	21,1		24,8					
IP			9,9	13,0	12,8	13,5		11,1	11,2	10,8	8,5	9,1	10,5		12,6	11,4%	1,6%	9,9%	12,8%	
IG			0	0	0	0		0	0	0	0	0	0		0	-	-	-	-	
HRB																-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																				
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC/S M	SC	SC	SC		SC	SC	SC	SM/S C	SC/S M	SC		SC		-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO																				
Hótima (%)			16,7	15,5	15,6	15,4		16,3	15,4	15,9	14,0	14,0	12,1		16,6	14,73	1,29	-	-	
Dmáx (g/cm ³)			1.785	1.770	1.800	1.720		1.75 5	1.730	1.680	1.715	1.790	1.78 0		1.670	1772,26	52,47	-	-	
UMIDADE																				
Umidade de Natural			2,6	3,6	4,2	2,2		3,0		2,3					2,4	3,21	0,98	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS															
TRECHO: JAZIDA 03 A															
FURO		05	11	13	18	21	23	26	28	31	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	1,60	1,40	1,60	0,80	1,20	1,40	0,70	1,40	1,30					
GRANULOMETRIA											X	σ	X _{mín}	X _{máx}	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-
		1"	100%	100%	100%	86%	100%	100%	100%	97%	100%	98,1%	4,6%	93,9%	100,0%
		3/8"	100%	100%	100%	73%	100%	100%	81%	82%	100%	92,9%	10,9%	83,1%	100,0%
		Nº 4	98%	99%	99%	66%	100%	99%	74%	77%	99%	90,1%	13,6%	77,9%	100,0%
		Nº 10	96%	98%	98%	64%	99%	97%	72%	75%	98%	88,6%	14,0%	76,0%	100,0%
		Nº 40	81%	86%	87%	55%	86%	86%	63%	65%	81%	76,7%	12,2%	65,7%	87,7%
		Nº 200	23%	25%	22%	29%	26%	31%	21%	32%	33%	26,9%	4,5%	22,8%	30,9%
LIMITES DE ATTERBERG															
LL		27,0	34,4	NL	35,1	35,2	32,0	NL	27,0	30,0	31,5%	3,6%	28,3%	34,8%	
LP		20,0	25,6		25,6	25,6	20,9		20,0	19,5	22,5%				
IP		7,0	8,8	NP	9,5	9,6	11,1	NP	7,0	10,5	9,1%	1,6%	7,6%	10,5%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S															
HRB		A-2-4	A-2-4	A-1-a	A-2-4	A-2-4	A-2-6	A-1-a	A-2-4	A-2-6	-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SM	SC	SM	SC/SM	SC	SC	SM	SC	SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO															
Hótima (%)		12,2	11,8	11,9	13,6	12,5	12,5	12,5	11,6	12,0	12,29	0,59	-	-	
D _{máx} (g/cm ³)		1.835	1.810	1.735	1.740	1.885	1.810	1.850	1.890	1.825	1820,00	54,89	-	-	
UMIDADE															
Umidade de Natural		1,0	2,4	5,1	1,2	1,0	2,6	1,5	2,4		2,15	1,36	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS																					
TRECHO: JAZIDA Nº 04																					
FURO		03	04	08	10	12	17	36	48	60	72	80	84	Tratamento Estatístico dos resultados							
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10								
(m)	ATÉ	1,20	1,60	1,90	1,70	1,66	1,60	1,85	1,50	1,60	0,80	1,75	1,75								
GRANULOMETRIA														X	σ	Xmín	Xmáx				
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-			
		1"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%			
		3/8"	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,2%	2,9%	96,6%	100,0%			
		Nº 4	87%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	96%	96%	96%	100%	95%	97,3%	3,8%	93,9%	100,0%			
		Nº 10	70%	97%	98%	96%	98%	98%	95%	93%	92%	89%	97%	93%	93,0%	7,8%	86,0%	100,0%			
		Nº 40	58%	86%	86%	84%	88%	88%	83%	72%	73%	72%	79%	75%	78,7%	9,0%	70,6%	86,7%			
		Nº 200	40%	43%	48%	39%	44%	38%	41%	40%	39%	41%	42%	42%	41,4%	2,7%	39,0%	43,9%			
LIMITES DE ATTERBERG																					
LL		37,0%	47,0%	41,2%	38,0%	41,1%	36,0%	38,0%	38,0%	33,0%	36,0%	38%	36%	38,3%	3,5%	35,1%	41,5%				
LP		24,0%	34,0%	27,0%	26,0%	27,0%	24,0%	26,0%	24,0%	21,0%	24,0%	25,0%	24,0%	25,5%							
IP		13,0%	13,0%	14,2%	12,0%	14,1%	12,0%	12,0%	14,0%	12,0%	12,0%	13%	12%	12,8%	0,9%	12,0%	13,6%				
IG		3	3	4	3	4	3	3	4	2	3	3	3	-	-	-	-				
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																					
CLASSIFICAÇÃO SUCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-				
COMPACTAÇÃO																					
Hótima (%)		11,1	11,5	14,5	13,5	14,3	11,3	11,4	11,1	12,4	11,6	11,6	12,6	12,24	1,23	-	-				
Dmáx (g/cm ³)		1.760	1.900	1.930	1.870	1.960	1.810	1.940	1.870	1.900	1.880	1.820	1.850	1874,17	57,91	-	-				

RESUMO DOS ENSAIOS																					
TRECHO: JAZIDA Nº 04 A																					
FURO		02	16	11	20	29	34	40	45	50	54	64	74	79	83	Tratamento Estatístico dos resultados					
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10					0,10	
(m)	ATÉ	1,70	1,60	1,65	1,80	1,70	1,70	2,30	1,50	2,10	2,20	1,10	0,60	0,65	1,95						
GRANULOMETRIA																X	σ	Xmín	Xmáx		
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	
		1"	100%	100%	100%	100%	89%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,2%	2,9%	96,6%	100,0%
		3/8"	100%	100%	100%	100%	78%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	100%	100%	98,2%	5,9%	92,9%	100,0%
		Nº 4	100%	100%	100%	100%	73%	100%	100%	92%	92%	95%	100%	93%	100%	94%	94%	95,6%	7,3%	89,0%	100,0%
		Nº 10	98%	98%	99%	98%	72%	98%	94%	88%	83%	88%	97%	86%	92%	84%	84%	91,1%	8,0%	83,9%	98,2%
		Nº 40	91%	89%	86%	89%	65%	85%	69%	68%	61%	63%	78%	70%	71%	69%	69%	75,3%	10,7%	65,7%	84,9%
		Nº 200	46%	43%	39%	45%	45%	47%	34%	38%	32%	40%	40%	45%	39%	43%	43%	41,1%	4,5%	37,1%	45,2%
LIMITES DE ATTERBERG																					
LL		37%	33%	35%	40%	40%	36%	35%	29%	38%	41%	32%	30%	36%	29%	29%	35,1%	4,0%	31,5%	38,7%	
LP		24%	21%	21%	27%	26%	25%	23%	19%	25%	27%	20%	17%	24%	17%	17%	23%				
IP		13%	12%	14%	13%	14%	11%	12%	10%	13%	14%	12%	13%	12%	12%	12%	12,5%	1,2%	11,5%	13,5%	
IG		4	3	2	4	4	3	2	1	2	4	2	3	2	2	2	-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																					
CLASSIFICAÇÃO SUCS		SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO																					
Hótima (%)		12,8	13,4	13,0	12,2	13,6	13,7	12,4	14,0	12,8	13,8	12,4	12,5	13,4	12,8	12,8	13,06	0,59	-	-	
Dmáx (g/cm ³)		1.800	1.790	1.790	1.830	1.860	1.910	1.880	1.870	1.850	1.830	1.860	1.920	1.880	1.900	1.900	1855,00	42,56	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS										
TRECHO: JAZIDA Nº 05										
FURO		02	04	06	08	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10					
(m)	ATÉ	1,80	1,80	1,55	1,80					
GRANULOMETRIA						X	σ	Xmin	Xmáx	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"				-	-	-	-	
		1"	100%	100%	100%	100%	100,0%	0,0%	100,0%	100,0%
		3/8"	100%	98%	85%	100%	95,8%	7,2%	89,3%	100,0%
		Nº 4	100%	97%	82%	100%	94,8%	8,6%	87,0%	100,0%
		Nº 10	98%	96%	81%	98%	93,3%	8,2%	85,9%	100,0%
		Nº 40	88%	82%	69%	85%	81,0%	8,4%	73,5%	88,5%
		Nº 200	34%	37%	37%	43%	37,8%	3,8%	34,4%	41,1%
LIMITES DE ATTERBERG										
LL		38,0%	39,0%	35,0%	39,0%	37,8%	1,9%	36,1%	39,4%	
LP		25,0%	25,0%	21,0%	26,0%	24,3%				
IP		13,0%	14,0%	14,0%	13,0%	13,5%	0,6%	13,0%	14,0%	
IG		11	13	10	11	-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S										
CLASSIFICAÇÃO SUCS		A-6	A-6	A-6	A-6	-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO										
Hótima (%)		13,8	14,2	14,5	12,9	13,85	0,70	-	-	
Dmáx (g/cm ³)		1.870	1.920	1.960	1.880	1907,50	41,13	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS														
TRECHO: JAZIDA Nº 09														
FURO		03	14	25	39	50	61	63	84	89	108	115	120	
PROFUNDIDADE (m)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,80	0,60	
	ATÉ	1,70	1,75	2,10	2,10	1,90	2,20	1,10		1,60	3,00	2,20	2,15	
GRANULOMETRIA														
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		1"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		3/8"	100%	100%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	97%	100%
		Nº 4	100%	98%	78%	100%	100%	100%	98%	99%	100%	88%	96%	100%
		Nº 10	95%	93%	69%	100%	100%	100%	96%	98%	100%	74%	95%	100%
		Nº 40	86%	80%	59%	89%	89%	89%	83%	88%	89%	65%	83%	90%
		Nº 200	32%	29%	37%	31%	33%	38%	35%	35%	39%	37%	40%	32%
LIMITES DE ATTERBERG														
LL		33%	35%	37%	34%	35%	33%	35%		32%	35%	33%	32%	
LP		23%	25%	26%	23%	23%	21%	23%	0%	19%	22%	20%	21%	
IP		10%	10%	11%	11%	12%	12%	12%		13%	13%	13%	11%	
IG														
COMPACTAÇÃO														
Hótima (%)		10,6	10,6	11,7	11,9	12,5	11,2	11,6	13,2	12,6	12,5	13,3	11,7	
Dmáx (g/cm ³)		1.770	1.820	1.780	1.810	1.820	1.800	1.730	1.902	1.840	1.720	1.800	1.770	

RESUMO DOS ENSAIOS													
TRECHO: JAZIDA 8													
FURO		124	129	137	142	150	158	168	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE (m)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	X	σ	Xmín	Xmáx	
	ATÉ	1,50	2,20	2,10	1,60	1,80	1,80	2,20					
GRANULOMETRIA													
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-
		1"	85%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	98,1%	94,0%	94,7%	100,0%
		3/8"	63%	100%	99%	100%	100%	95%	89%	94,9%	86,4%	87,3%	100,0%
		Nº 4	58%	99%	98%	99%	99%	94%	86%	93,4%	79,7%	84,7%	100,0%
		Nº 10	56%	98%	98%	99%	98%	93%	85%	92,5%	76,5%	83,3%	100,0%
		Nº 40	50%	91%	90%	94%	88%	85%	79%	83,0%	66,8%	74,2%	91,8%
		Nº 200	19%	36%	25%	35%	50%	32%	53%	44,0%	36,3%	35,4%	52,5%
LIMITES DE ATTERBERG													
LL	NL	36%	NL	34%	38%	34%	38%	33,4%	35,8%	30,1%	36,7%		
LP	-	24%	-	23%	26%	23%	24%	20,8%	4,0%				
IP	NP	12%	NP	11%	12%	11%	14%	12,6%	11,9%	11,7%	13,6%		
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.													
CLASSIFICAÇÃO UCS	SM	SC	SM	SC	CL	SC	CL	-	-	-	-		
COMPACTAÇÃO													
Hótima (%)	12,4	13,6	12,2	14,2	16,2	14,4	16,2	14,70	1,16	-	-		
Dmáx (g/cm ³)	1.930	1.730	1.780	1.890	1.780	1.700	1.780	1780,15	84,61	-	-		

RESUMO DOS ENSAIOS														
TRECHO: JAZIDA Nº 09														
FURO		140	161	167	175	193	202	212	222	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE		DE	1,45	1,00	0,10	0,10	1,90	0,10	0,10					0,00
(m)		ATÉ	2,10	2,50	1,50	1,85	2,20	1,85	3,00					
GRANULOMETRIA											X	σ	Xmin	Xmáx
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-
		1"	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99,7%	1,3%	98,5%	100,0%
		3/8"	82%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97,9%	5,1%	93,3%	100,0%
		Nº 4	73%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	96,0%	7,8%	89,0%	100,0%
		Nº 10	63%	87%	94%	96%	98%	98%	98%	96%	92,5%	10,9%	82,7%	100,0%
		Nº 40	56%	77%	81%	84%	86%	89%	81%	86%	81,5%	10,0%	72,5%	90,5%
		Nº 200	41%	36%	28%	35%	36%	33%	39%	27%	34,7%	4,0%	31,1%	38,2%
LIMITES DE ATTERBERG														
LL		32%	38%	34%	35%	34%	36%	32%		34,2%	1,8%	32,6%	35,7%	
LP		19%	26%	24%	24%	23%	24%	19%						
IP		13%	12%	10%	11%	11%	12%	13%		11,7%	1,1%	10,7%	12,6%	
IG										-	-	-	-	
COMPACTAÇÃO														
Hótima (%)		13,6	12,3	10,6	11,3	12,0	11,4	12,6	14,2	12,07	1,01	-	-	
Dmáx (g/cm ³)		1.800	1.720	1.850	1.810	1.700	1.830	1.830	1.783	1794,25	49,65	-	-	

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

- Permeabilidade de Carga Variável.
- Cisalhamento direto
- Triaxial

Como os ensaios de permeabilidade de carga variável e o triaxial não são normalizados, foram realizados por técnicas usuais. A seguir serão apresentados o resumo dos resultados dos ensaios realizados.

ENSAIOS DE PERMEABILIDADE DE CARGA VARIÁVEL

Quadro 3.8 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 02

FURO	PERMEABILIDADE
16	6.9E-07
29	6.0E-07
48	7.4E-07
66	4.5E-07
68	4.7E-07
MÉDIA	5.9E-07

Quadro 3.9 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 03A

FURO	PERMEABILIDADE
31	5.5E-07
MÉDIA	5.5E-07

Quadro 3.10-Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04

FURO	PERMEABILIDADE
10	4.2E-06
17	9.9E-07
MÉDIA	2.6E-06

Quadro 3.11 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04A

FURO	PERMEABILIDADE
20	7.7E-07
34	8.2E-07
MÉDIA	7.9E-07

Quadro 3.12 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 05

FURO	PERMEABILIDADE
8	8.8E-07
15	8.7E-07
MÉDIA	8.8E-07

Quadro 3.13-Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 08

FURO	PERMEABILIDADE
10	3,0E-07
53	6,7E-07
61	3,2E-07
80	7,3E-07
137	8,9E-06
MÉDIA	2,19E-06

Quadro 3.14 -Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 09

FURO	PERMEABILIDADE
3	7.8E-07
50	6.9E-07
89	5.7E-07
212	5.3E-07
MÉDIA	6.4E-07

ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO

Quadro 3.15 –Cisalhamento direto – Jazida 01

FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
14	5	33.6
24	10	32.1
57	6	32.5
69	6	35.6
MÉDIA	6.75	33.45

Quadro 3.16 –Cisalhamento direto – Jazida 02

JAZIDA 2		
FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
16	14	31.9
29	6	30.4
66	7	27.3
68	8	31.2
MÉDIA	8.75	30.2

Quadro 3.17 –Cisalhamento direto – Jazida 03

JAZIDA 3		
FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
9	18	32.9
29	13	33.5
38	11	33.9
44	9	31.3
MÉDIA	12.75	32.9

Quadro 3.18 –Cisalhamento direto – Jazida 03A

JAZIDA 3A		
FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
31	11	30.2

Quadro 3.19 – Cisalhamento direto – Jazida 08

FURO	COESÃO (kPa)	ATRITO (Φ)
10	16	31,3
53	12	31,9
61	17	32,2
137	6	33,9
MÉDIA	12,75	32,325

Quadro 3.20 – Ensaio triaxial – Jazida 08

ENSAIOS TRIAXIAIS – JAZIDA 08					
Amostra	TIPO	COESÃO (kPa)		ÂNGULO DE ATRITO (ϕ)	
		TOTAL	EFETIVA	TOTAL	EFETIVO
JAZIDA 8 FURO 92	CU	25	23	18	20,5
JAZIDA 8 FURO 150	CU	25	35	20	22

3.4 AREAL

O areal mais próximo identificado situa-se nos bancos do Rio Jatobá, nas proximidades da cidade de Ipueiras, numa distancia média de 45,5 km do eixo da barragem Lontras.

Foram coletadas amostras na área do rio para a realização dos seguintes ensaios de laboratório:

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

Nos quadros a seguir são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.

Quadro 3.21 - Valores Médios dos Ensaios do Areal Jatobá

GRANULOMETRIA AREAL DO RIO JATOBÁ							
FURO	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
01	100%	100%	97,8%	80,1%	15,0%	2,4%	0,4%
02	100%	98,5%	94,5%	77,5%	16,4%	2,8%	0,8%
03	100%	100%	96,1%	78,4%	17,0%	2,9%	1,0%
04	100%	99,4%	94,3%	76,4%	15,8%	2,6%	0,8%
05	100%	98,1%	95,2%	78,2%	18,6%	3,6%	1,2%
06	100%	97,9%	94,2%	75,5%	15,9%	2,8%	0,9%

07	100%	97,0%	93,2%	79,0%	19,4%	3,3%	1,2%
08	100%	99,7%	96,1%	79,7%	18,1%	3,0%	1,3%
09	100%	100%	97,5%	83,4%	22,0%	4,0%	2,0%
10	100%	99,3%	96,4%	83,4%	21,8%	3,6%	1,2%
11	100%	98,3%	94,4%	80,3%	20,9%	3,0%	0,8%
12	100%	98,7%	95,7%	94,1%	23,4%	4,2%	1,6%
13	100%	99,0%	96,0%	78,0%	17,0%	3,0%	1,0%
14	100%	98,0%	95,0%	78,0%	19,0%	4,0%	1,0%
15	100%	98,0%	94,0%	80,0%	21,0%	3,0%	0,8%
MÉDIA	100%	99%	95%	80%	19%	3%	1%

3.5 PEDREIRAS

As pedreiras foram identificadas e estudadas para a execução das transições, espaldares de enrocamento e concreto.

A pedreira 01 estudada para utilização nos espaldares da barragem, ficando uma situada no ponto de coordenadas UTM 283.233 e 9.500.912, com distância média de transporte de 1,9Km à montante do eixo da barragem, chamada de P-01.

Trata-se de um paredão em arenito aparentemente muito coerente, marcado por uma escarpa rochosa íngreme, com altura suficiente para comportar diversas bancadas de exploração superpostas e que oferece boas condições de aproximação e de frente de ataque. A imagem abaixo, extraída do Google Earth, mostra o local da possível fonte de rocha.



Figura 3.14 - Possível área-fonte de rocha para enrocamento

A pedreira 02 para transições e obras de concreto, situa-se próximo do ponto UTM 304.703 e 9.491.143, distando de cerca de 36 km de distancia do eixo barravel.

4 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

4.1 FICHA HIDROLÓGICA

Município	Ipueiras
Rio ou Riacho Barrado	Inhuçu
Área da Bacia Hidrográfica	1414 km ²
Comprimento do Talvegue Principal.....	75 km
Precipitação Média Anual.....	729 mm
Evaporação Média Anual.....	1775 mm
Vertedouro Tipo.....	Canal Escavado em Rocha, com perfil Creager e rápido revestido.
Largura do Vertedouro.....	80m
Cota do Vertedouro.....	535,00m
Volume Máximo Acumulável	350 hm ³
Vazão Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos	827,1m ³ /s
Lâmina Máxima de Sangria – TR = 1.000 anos	2,80 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos.....	1.208,3 m ³ /s
Lâmina Máxima de Sangria – TR = 10.000 anos	3,60 m
Vazão Regularizada a 90% de garantia	3,00 m ³ /s

4.2 COTA - ÁREA - VOLUME

Quadro 4.1 - Curva cota-área- volume

Cota (m)	Volume (hm ³)
485	3,754
490	467.630
495	3.900.517
500	12.549.362
505	27.749.477
510	50.745.635
515	81.927.071
520	123.849.402
525	179.859.840
530	253.377.371
535*	347.125.971
540	463.326.503

*Cota de sangria

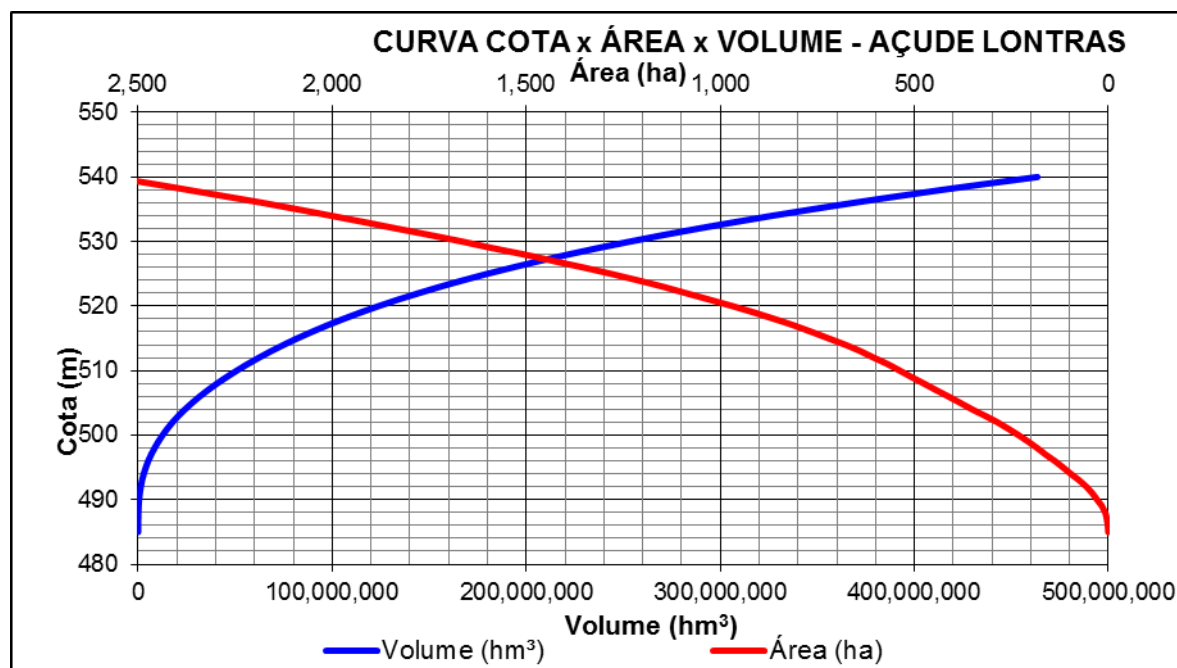


Figura 4.1 - Curva cota x área Volume

4.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

O Rio Inhuçu (Macambira), afluente do Rio Poti, fica localizado na Serra da Ibiapaba, na porção oeste do Estado do Ceará. Desde a sua nascente até do local Eixo barrável Inhuçu-Sotero, o Rio Inhuçu percorre cerca de 50 km, drenando uma área de 847 km². A cerca de 25 km a sua jusante, situa-se o Eixo barrável Lontras, drenando uma área livre (não controlada pelo barramento Inhuçu, a montante) de 567 Km². As principais características da bacia hidrográfica do Rio Inhuçu, nos sítios das barragens Inhuçu e Lontras (Cenários A, B e C) podem ser observadas no **Quadro 4.2**. A localização da área de estudo, em relação ao Estado do Ceará e bacias vizinhas, pode ser observada na **Figura 4.2**.

Quadro 4.2 - Características da bacia hidrográfica do rio Inhuçu nos Eixos barráveis

Cenário	Barragem	Área (A) (Km ²)	Comprimento do rio principal (L) (Km)	Desnível (H) (m)
A	Inhuçu	847,0	50	320
B	Lontras	1.414,0	75	400
C	Lontras (área livre)	587,0	25	80

A hidrografia da bacia das barragens Inhuçu e Lontras (área livre) é apresentada na **Figura 4.3**.

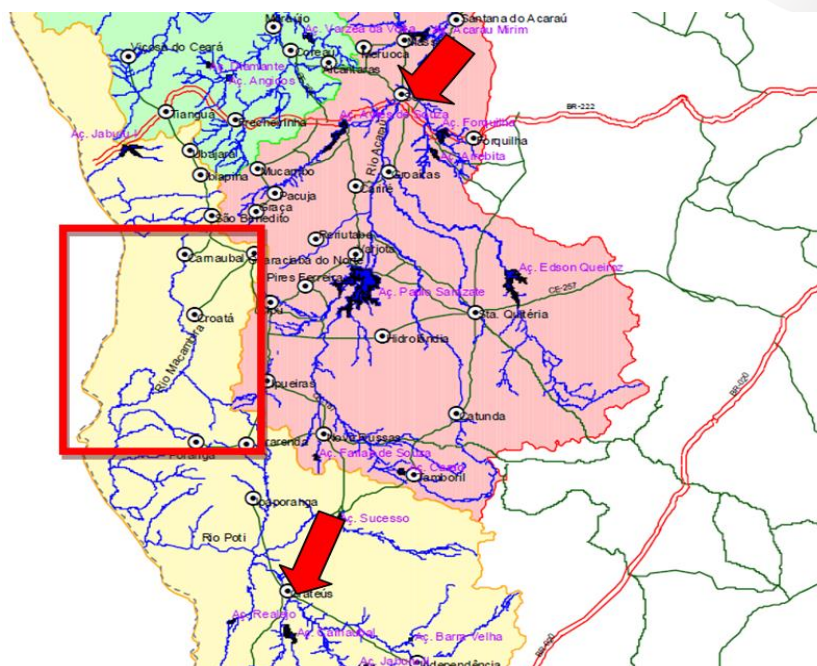


Figura 4.2 - Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará

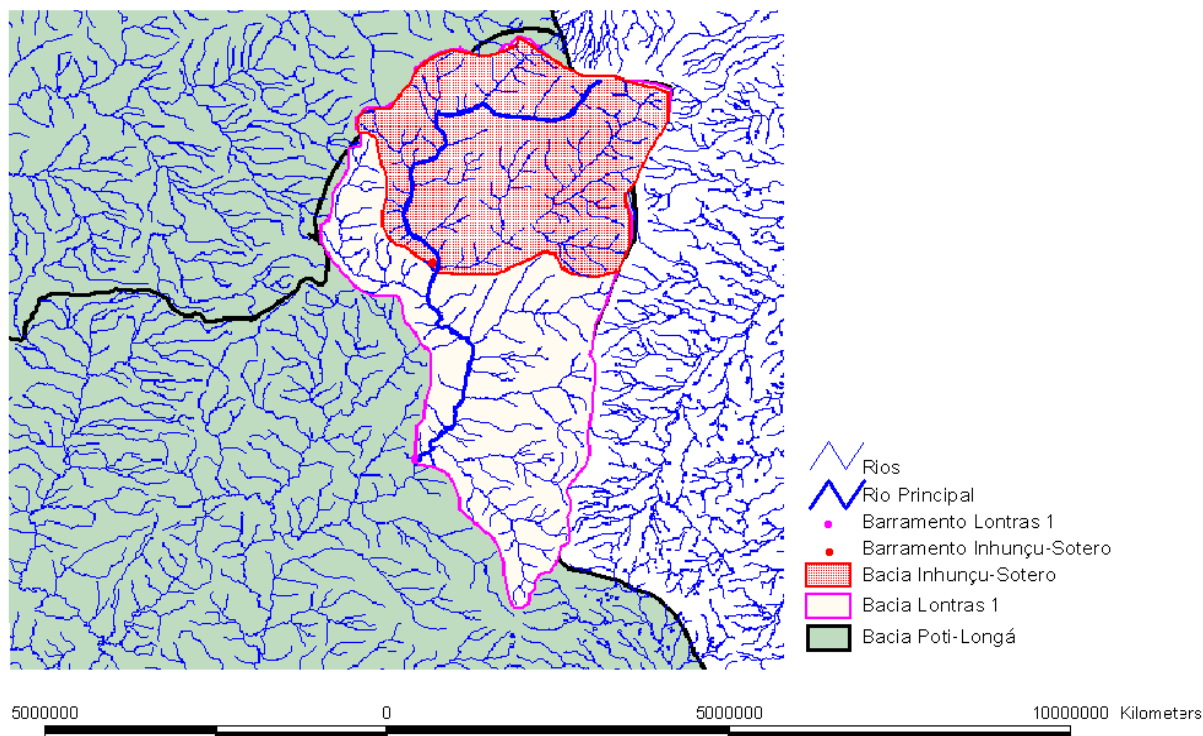


Figura 4.3 - Hidrografia da bacia das barragens Inhuçu e Lontras

4.4 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

A abordagem climatológica visa apresentar uma caracterização climática da área para permitir uma melhor visão do ambiente onde as barragens estão inseridas e dar subsídios às etapas subseqüentes dos estudos realizados nas bacias hidrográficas das barragens Inhuçu e Lontras, no que diz respeito ao aproveitamento dos seus recursos hídricos.

Para tanto, foram estudadas as seguintes grandezas hidro-climatológicas: temperatura, umidade relativa, insolação, velocidade dos ventos, evaporação e precipitação. Foi também calculada a evapotranspiração potencial por dois métodos – Hargreaves e Penman - Monteith – para estimar eventuais demandas hídricas para a irrigação.

Existem quatorze estações climatológicas no Estado do Ceará pertencentes ao INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – das quais duas se situam nas proximidades da área em estudo: Sobral (na bacia vizinha do Rio Acaraú) e Crateús (na própria bacia do Rio Poti) (**Figura 4.4**). As características das estações climatológicas mencionadas encontram-se no **Quadro 4.3**.

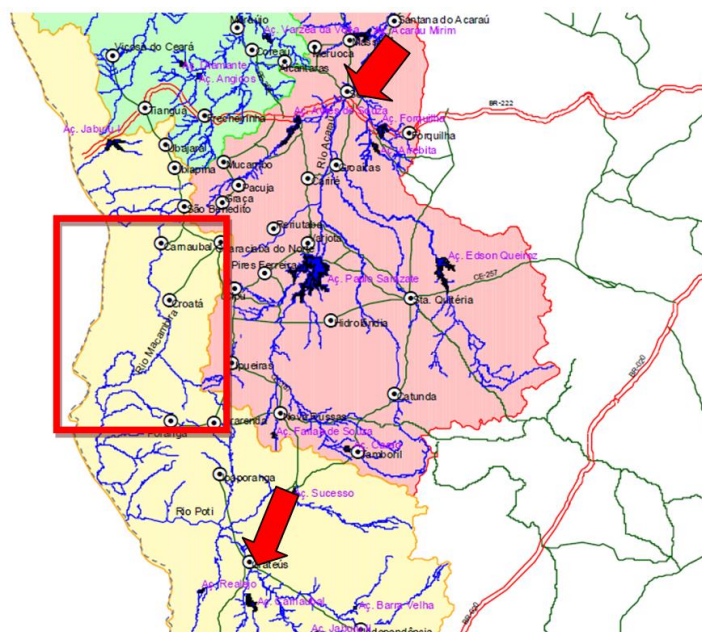


Figura 4.4 - Localização das estações climatológicas de Sobral e Crateús em relação à bacia hidrográfica do rio Inhuçu (retângulo em vermelho)

Quadro 4.3 - Características das Estações Climatológicas Sobral e Crateús

Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Total de Anos
Sobral	82392	03°44'S	40°20'W	109,6	23
Crateús	82583	05°10'S	40°40'W	296,8	23

Fonte: INMET (1990)

A estação climatológica Crateús, embora faça parte da bacia do Poti, está localizada na área mais semi-árida do Estado do Ceará, não refletindo o microclima mais ameno das bacias, em decorrência de altitudes mais elevadas. Sendo assim, em não existindo uma estação mais próxima dos barramentos, selecionou-se a estação Sobral como representativa das condições meteorológicas da região estudada.

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

INDICADOR	ÍNDICE
Pluviometria média anual (croatá)	599,7 mm
Semestre chuvoso e índice de concentração	Jan/Jun
Trimestre úmido	Mar/Maio
Trimestre seco	Set/Nov
Mês de maior pluviosidade	Março
Temperatura média anual	26,9 °C
Média das temperaturas mínimas	22,4 °C
Média das temperaturas máximas	33,5 °C
Umidade relativa média anual	70%
Período de maior umidade relativa	Abril
Período de menor umidade relativa	Set/ago
Insolação anual	2525,2 h
Período de maior insolação	Agosto
Período de menor insolação	Abril
Velocidade média dos ventos	2,2 m/s
Evaporação média anual em piché	2822,3mm
Período de maior evaporação	Outubro

Período de menor evaporação	Abril
ETP média anual	1895,6 mm

4.5 ESTUDO DE CHUVAS INTENSAS

4.5.1 Metodologia para cálculo das chuvas intensas

Como alternativa ao método clássico dos pluviogramas, tem-se o **Método das Isozonas** (Torricco, 1975). Este método utiliza dados de chuvas diárias e, através de um processo de desagregação, transforma para cada período de retorno, a chuva de 1 dia de duração, em chuvas de duração variando de 6 minutos a 24 horas.

O método tem por base o uso de "Isozonas", determinadas por Torricco, nas quais as relações entre as alturas de chuva de 1 hora e 24 horas e 6 minutos e 24 horas são constantes para um dado período de retorno (**Figura 4.5**).

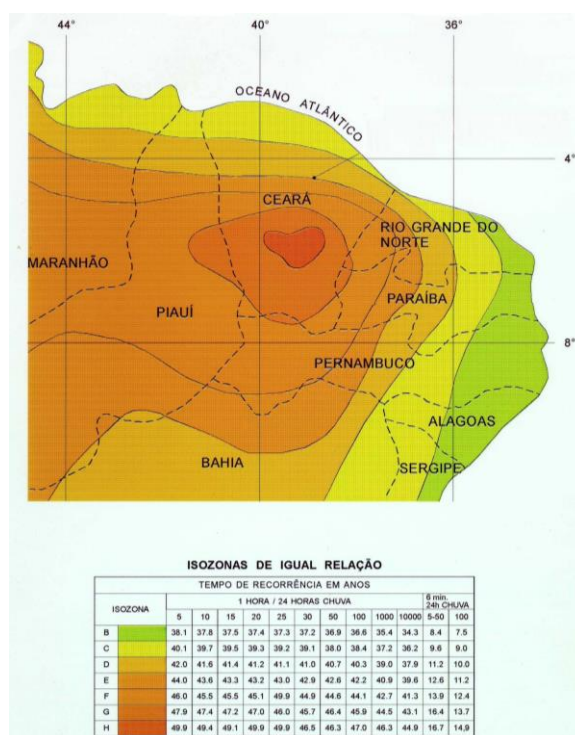


Figura 4.5 - Isozonas de igual relação (Fonte: Torricco, 1975)

4.5.1.1 Características das Séries de Chuvas Máximas com 1 dia de Duração

Foram estimadas as principais estatísticas que caracterizam o regime de chuvas (**Quadro 4.4**).

Quadro 4.4 - Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos Guaraciaba do Norte e Croatá

Características da Precipitação Máxima	Croatá	Guaraciaba do Norte
Média (mm)	64,6	86,2
Desvio Padrão (mm)	20,8	29,2
Coeficiente de Variação	0,32	0,34
Valor Máximo Observado (mm)	117,4	167,0
Valor Mínimo Observado (mm)	30,0	32,0

O **Quadro 4.4** ressalta mais uma vez a enorme variabilidade interanual das precipitações e a necessidade de se usar séries as mais extensas possíveis, na região. Na série de máximos de Croatá, os valores variam de 20,8 mm a 64,6 mm. Em Guaraciaba do Norte, de 29,2 a 86,2.

4.5.1.2 Chuvas máximas com durações de 24 horas

As chuvas virtuais de 24 horas de duração, contidas no **Quadro 4.5**, foram obtidas multiplicando-se as precipitações contidas no **Quadro 4.3** (postos Guaraciaba do Norte e Croatá) pelo fator 1,10 (para $P_{1\text{dia}}$):

Quadro 4.5 - Precipitações máximas para $T_r = 1.000$ e 10.000 anos com duração de 24 horas (em milímetros) nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte

T_r	Croatá P_{24h}	Guar. Norte P_{24h}
1.000 anos	168,18	238,35
10.000 anos	199,54	285,52

4.5.1.3 Chuvas Máximas com Duração de 1 hora

As precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração nos postos Guaraciaba do Norte e Croatá para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos foram obtidas multiplicando-se a chuva pontual de 24 horas (**Quadro 4.6**) pelo fator R:

A Isozona considerada foi a **D**. Os valores das chuvas pontuais de 1 hora e 24 horas de duração referem-se a uma área de 25 km².

Quadro 4.6 - Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte

Tr	R (Isozona D)	Croatá		Guaraciaba do Norte	
		P _{24h}	P _{1h}	P _{24h}	P _{1h}
1.000 anos	0,39	168,18	65,59	238,35	92,96
10.000 anos	0,39	199,54	77,82	285,52	111,35

4.5.1.4 Conversão da chuva pontual em chuva espacial

A conversão de chuva pontual para chuva espacial, sob toda a área de interesse é feita pela equação a seguir:

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

onde: w = parâmetro regional; P_A = precipitação sobre toda a área; P₀ = chuva pontual; A = área em estudo e A₀ = 25 km² (área base para chuva pontual). Os resultados para chuvas de 1 hora e 24 horas estão expostos no

Quadro 4.7.

No que tange o parâmetro **w**, normalmente adotado como sendo **0,22** em projetos hidrológicos na Região Nordeste, Meneses Filho (1991) alerta que seu valor é específico para cada duração de chuva, indicando, para duração de 1 a 6 dias, os valores 0,16, 0,12, 0,11, 0,09, 0,08 e 0,07, respectivamente. Segundo o autor, a adoção do valor 0,22 conduziria a uma "superestimativa da redução espacial da chuva, ou seja, a computarem-se menores valores de precipitação média superficial".

Os

Quadro 4.7 ao Quadro 4.9 mostram as chuvas espaciais sobre a bacia do Inhuçu, Lontras (sem barramentos a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante), nesta ordem.

Quadro 4.7 - - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km² e precipitação em milímetros) sobre a Bacia da Barragem Inhuçu (posto Guaraciaba do norte)

Tr	P _{o 24h}	P _{o 1h}	A	A/A ₀	w	$r = 1 - w \cdot \log(A/A_0)$	P _{A 24h} =r.P _{o 24h}	P _{A 1h} =r.P _{o 1h}
1.000	238,35	92,96	847,00	33,88	0,16	0,76	180,00	70,20
10.000	285,52	111,35	847,00	33,88	0,16	0,76	215,62	84,09

Quadro 4.8 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km² e precipitação em milímetros) sobre a Bacia da Barragem Lontras (sem Barragem Inhuçu a montante) - posto Guaraciaba do Norte

Tr	P _{o 24h}	P _{o 1h}	A	A/A ₀	w	$r = 1 - w \cdot \log(A/A_0)$	P _{A 24h} =r.P _{o 24h}	P _{A 1h} =r.P _{o 1h}
1.000	238,35	92,96	1.414,00	56,56	0,16	0,72	171,51	66,89
10.000	285,52	111,35	1.414,00	56,56	0,16	0,72	205,46	80,13

Quadro 4.9 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km² e precipitação em milímetros) sobre a área livre Bacia da Barragem Lontras (Com Barragem Inhuçu a montante) - posto Croatá

Tr	P _{o 24h}	P _{o 1h}	A	A/A ₀	w	$r = 1 - w \cdot \log(A/A_0)$	P _{A 24h} =r.P _{o 24h}	P _{A 1h} =r.P _{o 1h}
1.000	168,18	65,59	567,00	22,68	0,16	0,78	131,70	51,36
10.000	199,54	77,82	567,00	22,68	0,16	0,78	156,26	60,94

As chuvas intensas espaciais de durações entre 1 e 24 horas podem ser observadas nas **Figura 4.6 a Figura 4.8**, respectivamente, para a bacia do Inhuçu, Lontras (sem Inhuçu a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante).

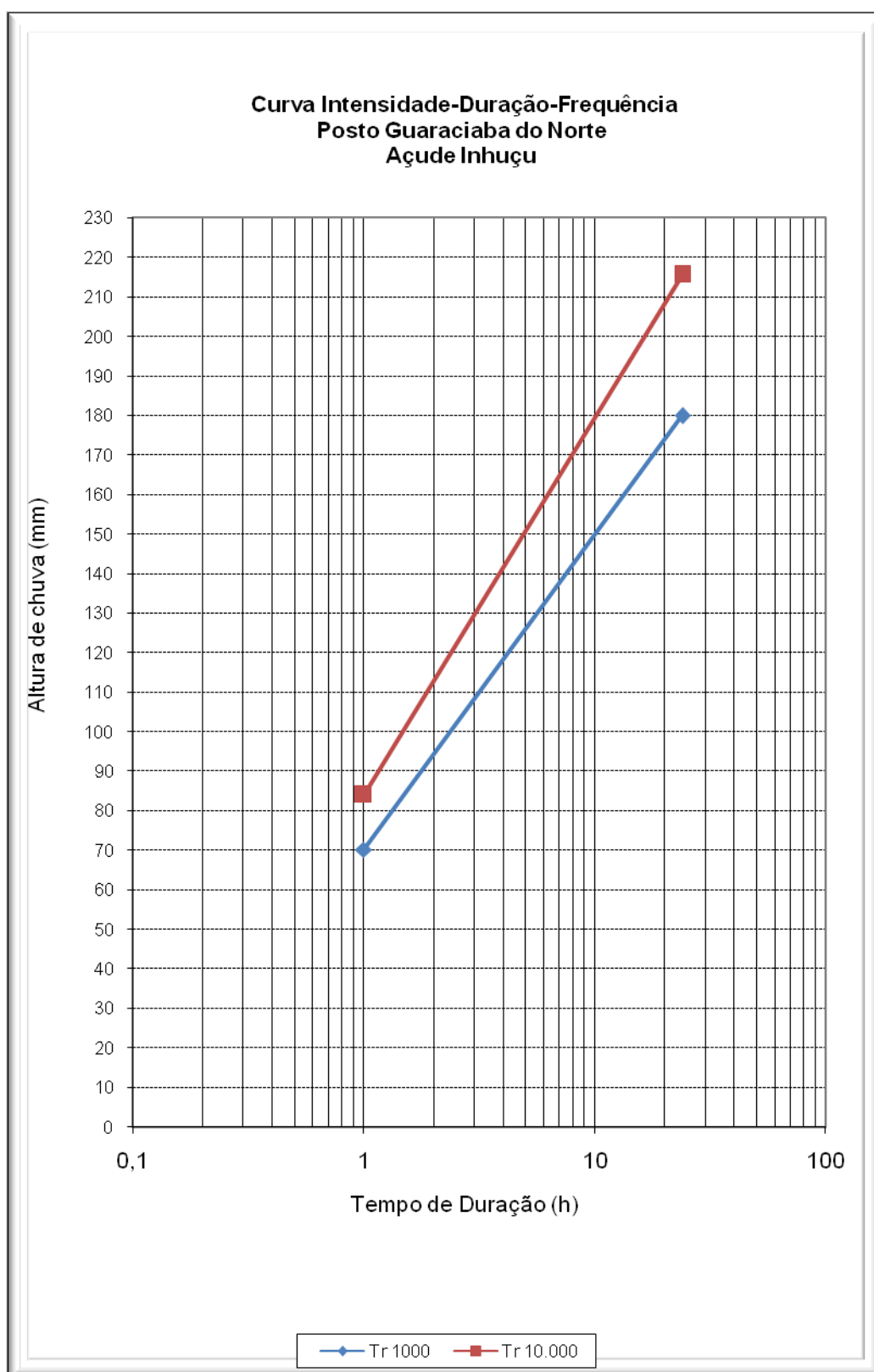


Figura 4.6 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia da barragem Inhuçu com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte.

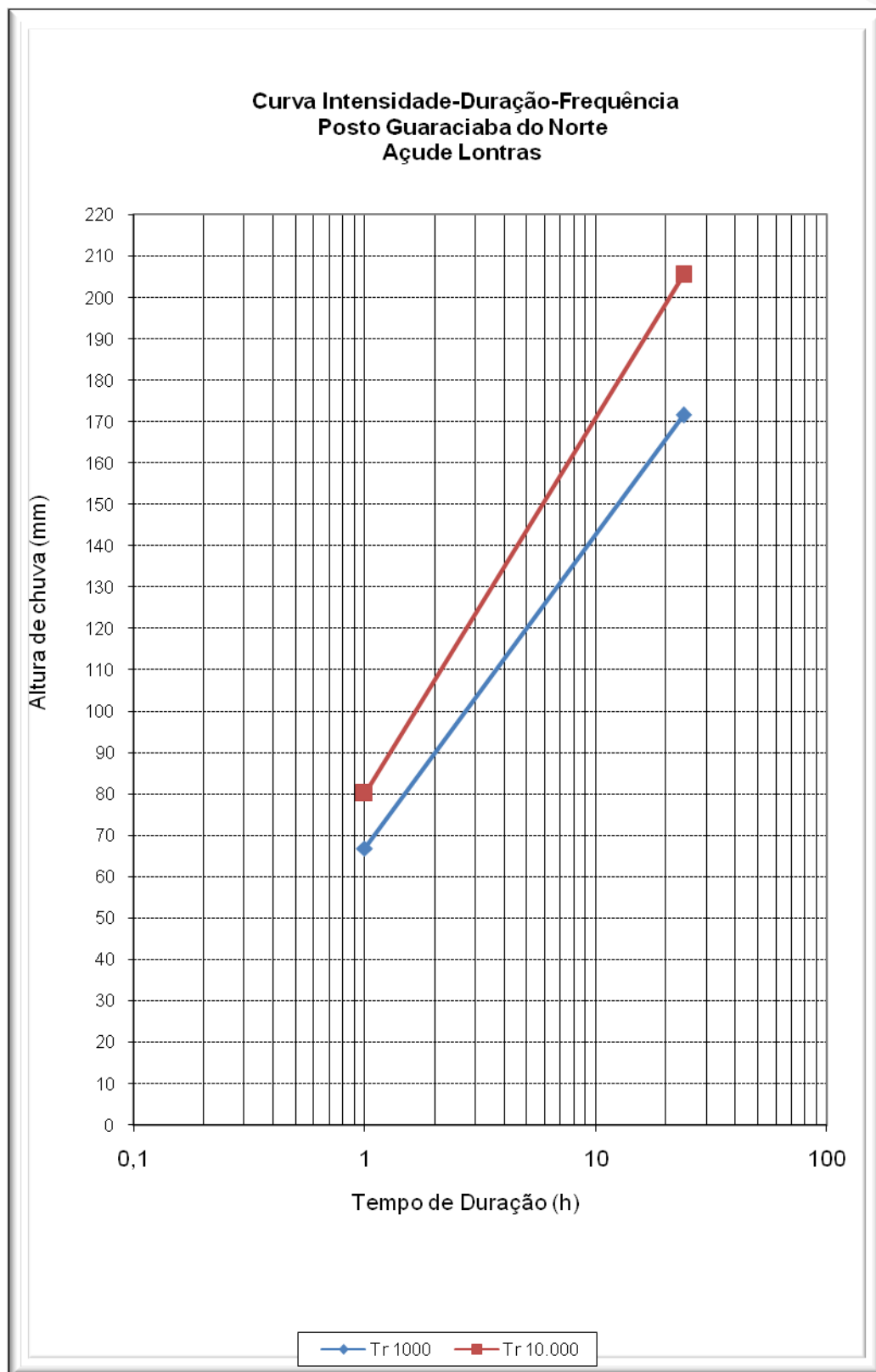


Figura 4.7 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia da barragem Lontras com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte.

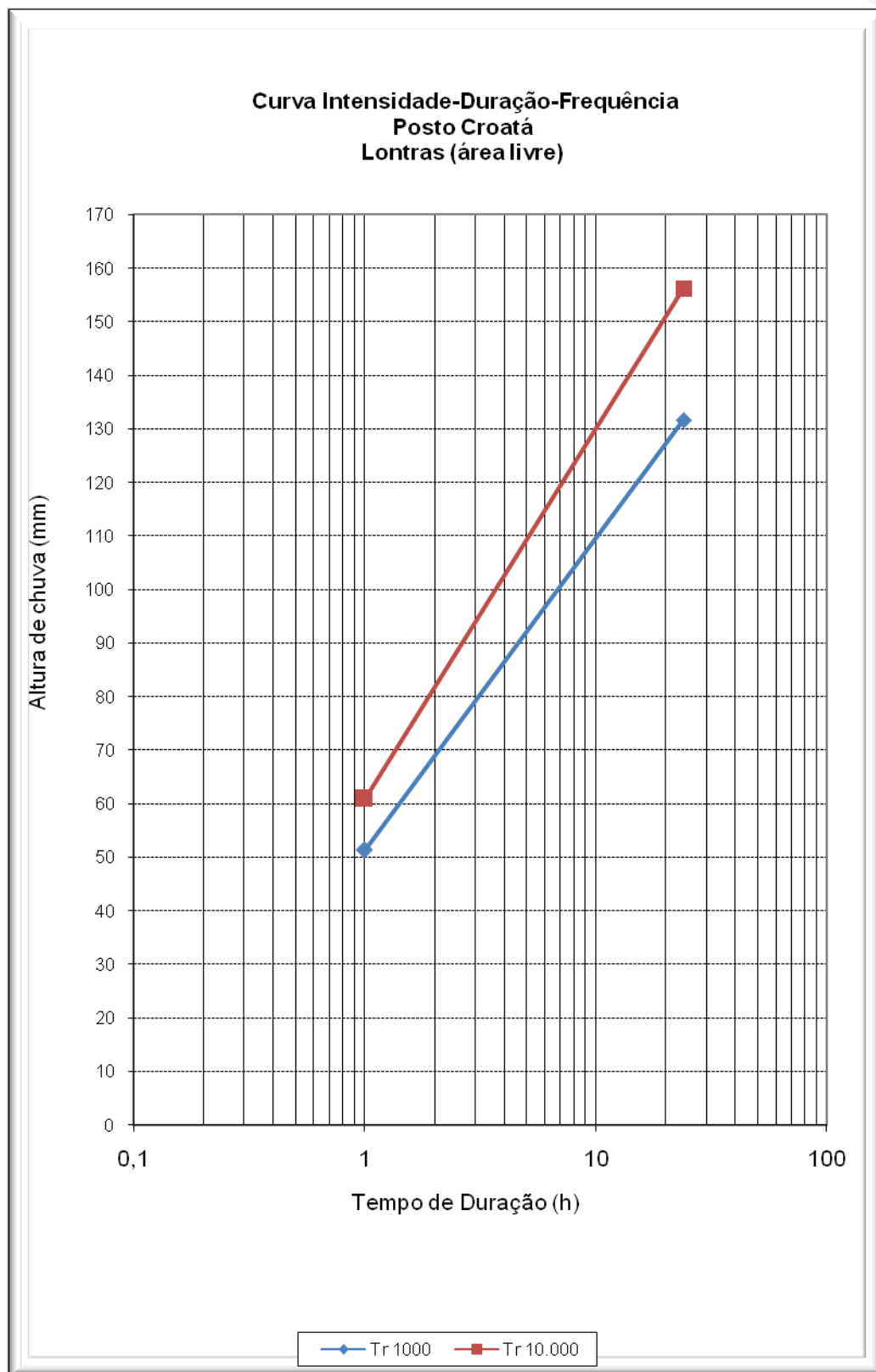


Figura 4.8 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia da barragem Lontras (Área Livre a jusante da barragem Inhuçu) com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Croatá.

4.6 ESTUDOS DE DEFLÚVIO

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

A fonte de dados fluviométricos é o Banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas; a bacia está localizada em “Bacias do Atlântico Norte-Nordeste - Sub-Bacia 34”

A série, em m³/s, pode ser visualizada no **Quadro 4.10** a seguir

Quadro 4.10 - Série Histórica de Vazões (m³/s) no Posto Fluviométrico Croatá (Hidroweb – ANA)

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
1963	2.05	2.15	10.06	12.75	4.34	2.02	1.29	0.83	0.52	0.33	0.27	0.58	3.10
1965	1.18	1.53	3.89	20.62	15.39	11.02	8.73	8.03	7.69	8.02	7.33	7.09	8.38
1966	6.66	7.29	4.58	4.19	2.39	1.98	1.33	0.76	0.47	0.31	0.00	0.00	2.50
1967	0.32	1.75	8.74	18.57	17.74	7.95	6.01	4.99	4.07	3.23	2.17	1.97	6.46
1968	2.45	2.26	8.17	7.36	7.79	4.11	2.70	1.76	1.26	0.96	0.84	1.39	3.42
1969	1.66	1.91	3.05	4.91	3.24	2.33	2.45	1.43	0.80	0.61	0.49	0.42	1.94
1970	0.62	0.57	2.13	2.39	1.48	0.79	0.55	0.37	0.23	0.00	0.23	0.07	0.79
1971	0.49	1.04	2.02	5.22	4.53	3.90	2.14	1.21	0.62	0.36	0.30	0.25	1.84
1972	0.39	0.97	2.06	2.59	2.50	1.32	0.62	0.38	0.25	0.00	0.00	0.07	0.93
1973	1.25	2.28	5.25	7.00	11.99	5.11	3.14	1.76	1.18	0.97	0.54	0.55	3.42
1974	2.18	3.80	8.65	35.69	42.29	38.61	34.81	20.67	8.76	7.02	5.62	5.25	17.78
1975	5.09	3.34	17.92	8.79	9.95	7.93	5.64	4.02	3.76	2.39	2.03	3.36	6.19
1976	1.98	5.66	5.69	8.64	4.36	3.43	2.34	1.80	1.52	1.39	1.40	1.15	3.28
1987	1.73	1.85	9.68	7.37	3.61	3.53	1.70	0.72	0.38	0.32	0.14	0.00	2.59
1989	3.12	3.02	5.41	16.42	14.58	6.68	7.12	3.42	2.21	1.45	0.91	2.42	5.56
1990	1.77	2.65	6.86	4.90	5.29	2.97	1.62	0.75	0.33	0.17	0.03	0.53	2.32
1992	0.88	3.75	3.88	4.98	1.59	0.84	0.46	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	1.38
1995	0.09	3.09	8.29	12.82	12.22	4.03	2.61	1.20	0.60	0.32	0.29	0.15	3.81
1996	0.85	1.23	5.19	9.02	7.50	4.00	2.50	2.07	0.75	0.41	0.63	0.32	2.87
1998	0.79	0.87	0.84	1.31	0.68	1.20	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49
2000	0.90	4.30	5.77	8.34	4.55	2.70	1.23	2.35	6.39	4.03	0.01	0.00	3.38
2001	0.02	0.11	0.90	7.10	3.38	3.46	6.60	6.25	2.95	0.00	0.00	0.00	2.56
2002	1.37	1.17	4.27	6.43	4.89	3.11	6.14	6.26	4.82	0.80	0.00	0.00	3.27
2003	0.00	3.18	9.00	8.69	5.79	3.28	6.20	6.70	6.28	2.74	0.00	0.00	4.32
2004	6.02	10.01	9.17	7.67	7.20	6.11	4.66	3.27	6.82	6.48	6.09	5.86	6.61
2005	0.72	0.83	3.21	4.13	3.16	1.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.15
2006	0.00	0.38	4.17	6.04	5.39	1.36	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.49
Média	1.65	2.63	5.88	9.03	7.70	5.02	4.20	3.01	2.32	1.57	1.09	1.16	3.77

4.7 A CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU

A capacidade de regularização das barragens Lontras e Inhuçu foi analisada a partir de suas operações simuladas. As séries históricas de vazões utilizadas em cada barramento. Os estudos foram desenvolvidos através da equação do balanço hídrico, tomando por base as seguintes premissas:

- A unidade de tempo é um mês;
- A retirada do reservatório é constante ao longo dos anos e ao longo dos meses;
- A contribuição líquida sobre o lago - precipitação menos evaporação - é admitida constante ao longo dos anos, mas variável ao longo dos meses.

4.7.1 A simulação dos reservatórios utilizando o programa simres

As simulações das barragens Lontras e Inhuçu foram feitas utilizando o módulo **SIMULAÇÃO** do programa **SIMRES**, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Este módulo executa a simulação do reservatório, resolvendo a equação de seu balanço hídrico.

Este módulo utiliza dois arquivos de dados:

- Arquivo dos deflúvios mensais afluentes ao reservatório – este arquivo é apresentado em um formato denominado TAPE3.DAT.
- Arquivo de dados gerais – este arquivo, cujo formato é denominado de TAPE2.DAT informa as características gerais do reservatório e os procedimentos da simulação.

4.7.1.1 Cenários Simulados

Foram simulados três cenários de topologias – Inhuçu isolado (Cenário A), Lontras isolado (Cenário B) e os dois reservatórios em série (Cenário C).

No Cenário A, adotou-se, para o reservatório Inhuçu, a capacidade de 100 hm³ (a capacidade máxima para este reservatório seria de 180hm³). No Cenário A, adotou-se a

capacidade do reservatório Lontras I igual a 350 hm³ (correspondente à cota que não alaga a sede municipal de Croatá). No Cenário C, variou-se a capacidade de Lontras entre 350 e 320 hm³ e Inhuçu, entre 40 e 100 hm³, desde que o somatório das duas não excedesse a capacidade máxima conjunta de 420 hm³, estabelecida pelo Marco Regulatório (Resolução 547/2006 ANA/SRH-CE/SEMAR-PI) (**Quadro 4.11**).

Quadro 4.11 - Capacidades adotadas nos cenários A, B e C (em hm³)

CENÁRIO		LONTRAS I	INHUÇU-SOTERO	SISTEMA (SOMATÓRIO)
A			100	100
B		350		350
C	1	350	40	390
	2	350	50	400
	3	350	60	410
	4	350	70	420
	5	340	80	420
	6	330	90	420
	7	320	100	420

4.7.2 As vazões regularizadas pelos reservatórios Lontras e Inhuçu

Ao optar-se pela operação simulada do reservatório, dois caminhos distintos podem ser seguidos: a simulação estocástica (método experimental) e a simulação utilizando unicamente a série histórica (método empírico).

Na simulação estocástica, várias sequências independentes de vazões são geradas. E, uma vez que diversos resultados são obtidos, pode-se estimar a vazão regularizada baseado na análise probabilística do comportamento da mesma. Pode-se ainda gerar uma única série sintética de vazões, bastante longa, e adotar-se um horizonte de simulação igual ao da série gerada, simulando o processo de armazenamento no reservatório em seu estado de equilíbrio.

No caso da simulação do reservatório utilizando apenas a série histórica de vazões, prática corrente no meio técnico, faz-se o horizonte de simulação igual ao da extensão da série histórica e arbitra-se o Volume Inicial (V_0) a ser assumido para o reservatório. O inconveniente é que, para a mesma série, a cada volume inicial adotado, encontrar-se-ia

um valor diferente de vazão regularizada para reservatórios, pois o processo de armazenamento para $n = 27$ anos ainda está no seu estado transiente (Studart, 2000).

Assim, no presente estudo, as vazões regularizadas pelas barragens Lontras e Inhuçu foram calculadas com os mesmos no seu estado de equilíbrio, para que os resultados não sejam influenciados pelas condições iniciais do reservatório.

O **Quadro 4.12** apresenta os resultados das simulações ao adotar-se os Cenários A, B e C. Os cenários A e B consideram apenas um único reservatório – Inhuçu e Lontras, respectivamente. No caso do Cenário C, com Inhuçu a montante de Lontras, este último é simulado com as sangrias do primeiro somadas às vazões geradas na área livre ($A=567 \text{ km}^2$ $523,00 \text{ km}^2$) da bacia da barragem Lontras.

Quadro 4.12 - Vazões Regularizadas pelas barragens Lontras e Inhuçu (e pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm^3)

CENÁRIO		LONTRAS	INHUÇU	VAZÃO REGULARIZADA PELO SISTEMA (HM^3/ANO)
A	Capacidade (hm^3)		100,0	
	Vazão Média Afluente (hm^3/ano)		97,4	
	Q90 (hm^3/ano)		50,6	50,6
	f_K		1,0	
	f_M		0,5	
B	Capacidade (hm^3)	350,0		
	Vazão Média Afluente (hm^3/ano)	163,1		
	Q90 (hm^3/ano)	106,3		106,3
	f_K	2,1		
	f_M	0,7		
C1	Capacidade (hm^3)	350	40,0	
	Vazão Média Afluente (hm^3/ano)	154,4	97,4	
	Q90 (hm^3/ano)	98,7	32,7	131,4
	f_K	2,3	0,4	
	f_M	0,6	0,3	

C2	Capacidade (hm ³)	350	50	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	149,3	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	94,9	37,2	132,1
	f _k	2,3	0,5	
	f _M	0,6	0,4	
C3	Capacidade (hm ³)	350	60	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	145,3	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	92,0	41,1	133,1
	f _k	2,4	0,6	
	f _M	0,6	0,4	
C4	Capacidade (hm ³)	350	70	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	141,9	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	89,5	43,7	133,2
	f _k	2,5	0,7	
	f _M	0,6	0,4	
C5	Capacidade (hm ³)	340	80	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	139,1	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	86,6	46,4	133,0
	f _k	2,4	0,8	
	f _M	0,6	0,5	
C6	Capacidade (hm ³)	330	90	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	136,2	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	84,1	48,6	132,7
	f _k	2,4	0,7	
	f _M	0,6	0,5	
C7	Capacidade (hm ³)	320	100	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	133,79	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	83,7	50,6	134,3
	f _k	2,4	1,0	
	f _M	0,6	0,5	

A **Figura 4.9** apresenta os resultados das simulações ao adotar-se os Cenários A, B e C para a barragem Inhuçu, Lontras e para o Sistema formado pelos dois reservatórios em série. Observa-se que, para o Sistema, independentemente da topologia adotada para o Cenário C (sete alternativas), o mesmo se comporta hidrológicamente da mesma maneira, ou seja, regulariza algo em torno de 4,3 m³/s, devido à uma compensação entre os dois reservatórios, o que torna possível a escolha da capacidade do Inhuçu que melhor atenda outros requisitos importantes, tais como manchas de solo.

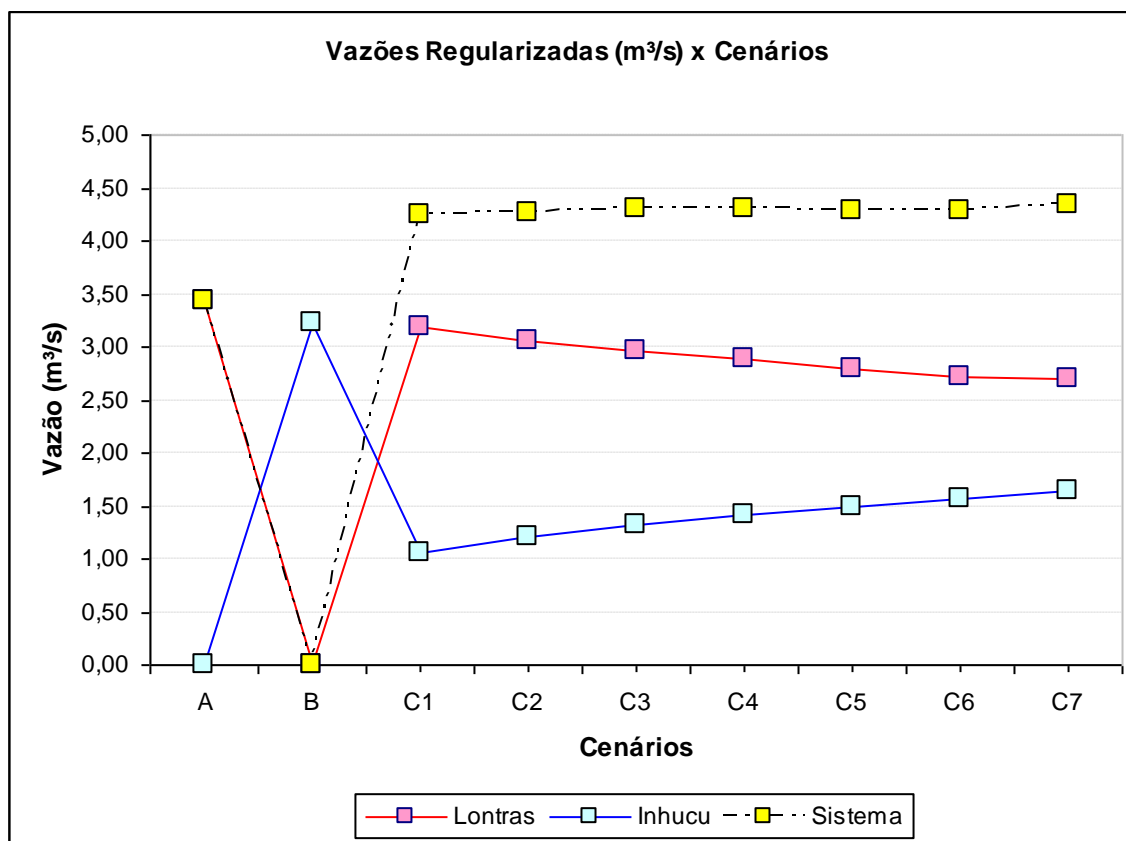


Figura 4.9 - Vazões Regularizadas pelas barragens Lontras e Inhuçu (e pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm³)

Sendo assim, Cenário escolhido em função de outras considerações, além das hidrológicas, é o Cenário C1 (Inhuçu com capacidade igual a 40 hm³ e Lontras, com 350 hm³).

4.8 ESTUDO DE CHEIAS E DO VERTEDOURO

A cheia de projeto, muitas vezes denominada de *cheia sintética*, é frequentemente utilizada na análise, planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas. As *cheias de projeto* com períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos são utilizadas na análise do comportamento hidráulico do sangradouro da barragem Inhuçu, no sentido de *verificação da segurança* das barragens supracitadas. O programa utilizado é o Flood Hydrograph Package (HEC-HMS), desenvolvido pelo Hydrologic Engineer Center, do U.S. Army Corps of Engineers (EUA).

Nos padrões definidos pelo U.S. Army Corps of Engineers - e disponíveis no programa - são três os diferentes métodos para a determinação das cheias sintéticas: 1) a cheia de projeto padrão (standard project storm); 2) a cheia máxima provável e, 3) a cheia de projeto de diferentes durações derivadas de dados área-altura de chuva.

O método da *cheia de projeto de diferentes durações* foi desenvolvido pelas agências americanas National Weather Service (NWS) e National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). O método também é conhecido como *cheia balanceada*, porque suas alturas incrementais acumuladas podem ser organizadas em relações consistentes frequência x duração para cada intervalo de duração da chuva total. Isso significa que intervalos de chuvas de diferentes durações - 1h, 2h, 8h - produzem totais de chuva com a mesma frequência de excedência (ou período de retorno). Aceitando-se os princípios do NWS, optou-se, para o presente estudo, adotar uma *cheia de projeto balanceada* usando-se os parâmetros do clima local.

Para o desenvolvimento da cheia de projeto, dois parâmetros devem ser inicialmente estimados: a *duração* da chuva e o *intervalo de tempo* para cada incremento de chuva. A duração da chuva deve ser, *no mínimo*, igual ao tempo de concentração da bacia, mas, *preferencialmente*, mais longa. Uma duração *mais longa* reflete melhor as condições reais onde, normalmente, uma chuva crítica acontece *inserida* em uma chuva de maior duração.

Neste Capítulo será considerado apenas o Cenário C1 (Inhuçu e Lontras em série). As capacidades escolhidas foram, respectivamente, 40 hm³ e 350 hm³.

No presente caso, adotou-se uma chuva de duração igual a duas vezes o tempo de concentração da bacia total (Inhuçu tem tc igual a 9,4h e a área livre de Lontras tem tc igual a 7,2).

4.8.1 A chuva de projeto

Determinou-se a duração da chuva em função do tempo de concentração da bacia ($t_d=2t_c$), ou seja, t_d para Inhuçu é de 18hs e, para Lontras (área livre), é de 14hs. De acordo com o Capítulo 4, observa-se que para Inhuçu, a chuva milenar é de 167,14 e a decamilenar é de 200,36mm. A distribuição do total precipitado ao longo destes períodos seguiu metodologia proposta pelo NWS e pode ser observada nas figuras 4.10 e 4.11, que mostram a chuva balanceada milenar e decamilenar ao longo de 2 t_c para Lontras,

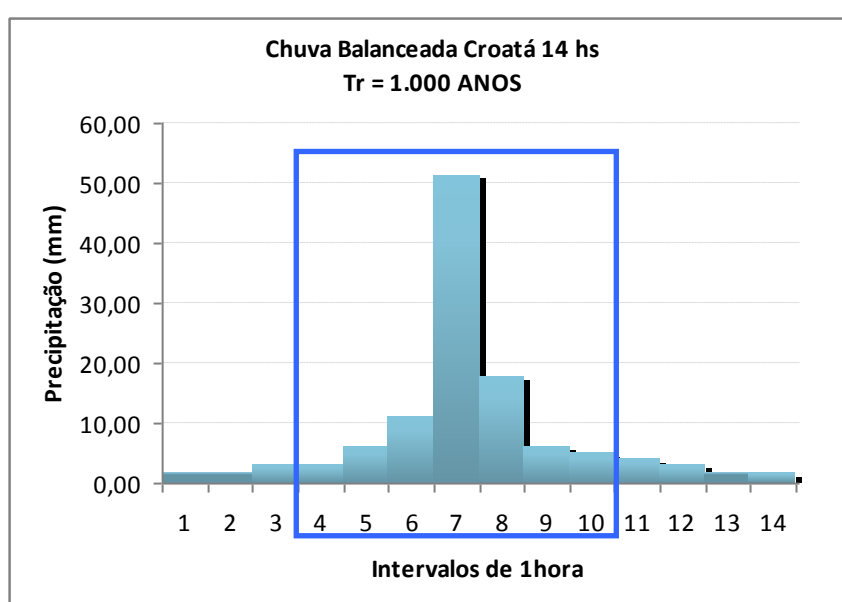


Figura 4.10 - Chuva balanceada de 14 horas para Tr=1.000 anos para Lontras

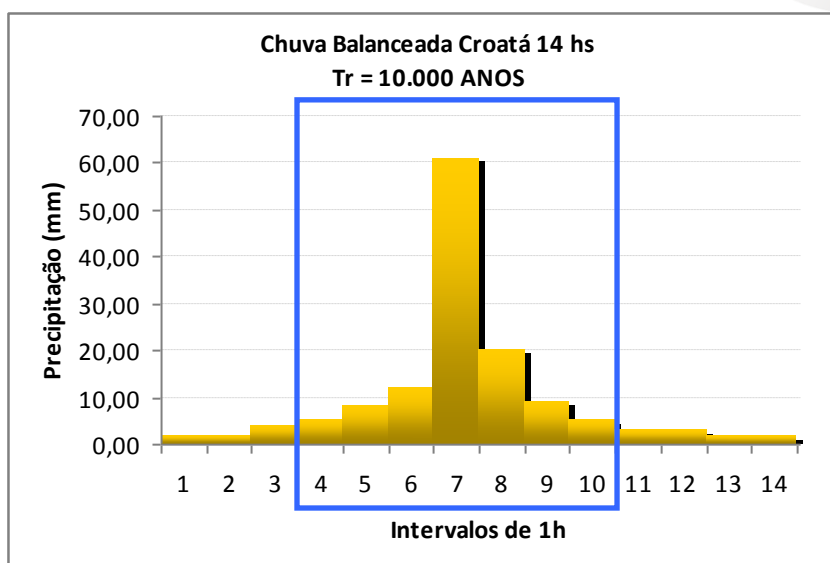


Figura 4.11 - C Chuva balanceada de 14 horas para Tr=10.000 anos para Lontras

4.8.2 As cheias máximas com tr = 1.000 e 10.000 anos afluentes e efluentes ao reservatório Lontras

As cheias máximas com tr = 1.000 e 10.000 anos afluentes e efluentes ao reservatório Lontras.

O Cenário simulado tem topologia cujas principais características são novamente apresentadas no **Quadro 4.13**.

Quadro 4.13 - Principais Características do reservatório Lontras

Açude	Capacidade (hm³)	Bacia Hidrográfica (km²)	Cota da Soleira do Vertedouro (m)
Lontras	347,13	567	535,00

O **Quadro 4.14** apresenta as vazões afluentes e efluentes a barragem Lontras (cenário B). Variou-se a largura do vertedouro da barragem Lontras entre 80 metros e 120 metros.

No que se refere à lâmina sobre o vertedouro, esta atinge valores entre 2,4 e 3,6 metros.

Quadro 4.14 - Vazões de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes para $T_r = 1.000$ e 10.000 anos, Lâmina sobre a soleira do vertedouro e nível de amortecimento da barragem Lontras, considerando a largura do vertedouro 80, 100 e 120m.

	Milenar			Decamilenar		
	L=80m	L=100m	L=120m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	2.097,8 m ³ /s			2.864,9 m ³ /s		
Tp	15 hs			15 hs		
Cheia Efluente	827,10m ³ /s	940,3m ³ /s	1.034,1m ³ /s	1.208,3 m ³ /s	1.366,5 m ³ /s	1.504,4 m ³ /s
Tp	23 hs	22 hs	22 hs	22 hs	22 hs	21 hs
lâmina (m)	2,8 m	2,6 m	2,4 m	3,6 m	3,3 m	3,1 m
Amortecimento	60,7 %	55,2 %	50,7 %	57,8%	52,3%	47,5%

Observa-se que a capacidade de amortecimento da barragem Lontras é grande. Dependendo da largura do vertedouro adotada, esta varia de 47 a 61%, considerando as cheias milenar e decamilenar.

Segundo recomendação do Painel de Segurança do Banco Mundial, adotado como padrão pela Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, o vertedouro deve ser dimensionado para a chuva milenar e deve ser verificado pela cheia decamilenar, de maneira que a cota de coroamento da barragem fique pelo menos 50 cm acima da cota de sangria da cheia decamilenar. Para a barragem Lontras, no que se refere à cheia milenar, a lâmina sobre o vertedouro fica em torno de 2,5 metros. No caso da decamilenar, esta varia de 3,1 m (L=120m) a 3,6 m (L=80m). A definição da largura do vertedouro da barragem Lontras também ficará vinculada a considerações construtivas. Mas observa-se que os valores de lâmina encontradas para as cheias decamilenares estão dentro de uma faixa valores considerados seguros.

5. ESTUDOS PEDOLOGICOS

5. ESTUDOS PEDOLOGICOS

5.1 INTRODUÇÃO

Os estudos relativos ao Eixo de Integração Ibiapaba visam a construção de açudes e obras de adução de água, necessárias ao aproveitamento hidroagrícola, utilizando o potencial de produção de vazão regularizada da região da Ibiapaba.

Os serviços pedológicos previstos abrangeriam 4.900 há de terras a serem estudadas ao nível de Reconhecimento de Solos com potencial de utilização para irrigação com as águas disponibilizadas com a operação conjunta dos reservatórios a serem construídos.

Tendo por base a análise de pares estereográficos de fotografias de satélites tomadas em 2011 e fotointerpretadas na etapa anterior ao presente relatório, o Consórcio ENGESOFT/IBI identificou as áreas mais propícias para irrigação com a derivação da água a partir dos futuros açudes.

Para a bacia do Acaraú, as áreas mais adequadas a serem beneficiadas são as no entorno dos grandes projetos de irrigação que estão sendo implantados pelo Governo Federal (DNOCS). Os estudos hidrológicos atualmente disponíveis apontam para um déficit de água na bacia do Acaraú com relação às disponibilidades de áreas irrigáveis. Pode-se destacar que a maioria das terras irrigáveis estudadas encontram-se no Baixo Acaraú no entorno do Projeto de Irrigação do Baixo Acaraú, hoje, em fase de implantação. Existem estudos pedológicos disponíveis para aquela região, bem como para a região do Projeto Araras Norte. A vazão máxima que poderá ser transposta a partir da Ibiapaba derivando dos Açudes Inhuçu+Lontras permite a irrigação máxima de uma área da ordem de 4.000 há.

Como já existem estudos de solos para a bacia do Acaraú, e considerando que as águas captadas da Ibiapaba deverão beneficiar prioritariamente as bacias onde as obras vão ser implantadas (Rios Macambira/Inhuçu), o Consórcio ENGESOFT/IBI identificou novas áreas irrigáveis mais próximas possíveis aos locais dos barramentos e na bacia hidrográfica do Macambiras/Inhuçu, tendo priorizado duas manchas de solos:

- 1 Área Inhuçu – Situada á jusante do açude Inhuçu, se estende até a bacia hidráulica do futuro “Açude Lontras” acompanhando os curso de água dos rios Macambira/Inhuçu. Terá sua irrigação atendida com condução de água por gravidade desde o reservatório homônimo até os pontos de tomada de água de cada proprietário irrigante;

2 Área Lontras – Acompanha a margem esquerda da bacia hidráulica do açude Lontras. Ocupa terras mais altas localizadas entre 10 e 100 m acima das cotas médias da bacia hidráulica do açude Lontras. São terras de alta potencialidade para irrigação, hoje sem acesso à água.

O presente levantamento pedológico, a nível de semi-detalhe, foi executado na área denominada “Lontras”, compreendida pelas coordenadas UTM extremas 9.501849-9515698 e 286358-292122 sob influência das águas represadas pelo açude homônimo, a ser construído em consequência dos presentes estudos de Viabilidade da Ibiapaba .

A finalidade do mesmo foi identificar, caracterizar, classificar, descrever e mapear as unidades de solos contidas na área e, sobre as mesmas, emitir informações agrônômicas, para subsidiar futuros projetos executivos de irrigação.

A área objeto do estudo abrange terras pertencentes aos municípios de Ipueiras e Croatá no estado do Ceará. Esta área totalizou 3.117,47 ha dos quais 2.853,86 ha são considerados irrigáveis, ou seja 91,44%, por métodos outros que não o da gravidade. principalmente gotejamento e micro-aspersão.

Os principais solos da área são LATOSSOLOS AMARELOS e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS.

O levantamento obedeceu as normas adotadas e recomendadas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA, atendendo plenamente o número de observação de tradagens; o número de perfis descritos, coletados e analisados; a precisão dos limites entre manchas de unidades diferentes e a área mínima a ser mapeada; conforme exige o levantamento no nível acima citado.

A classificação das terras para a irrigação apoiou-se no uso dos critérios estabelecidos pelo Bureau of Reclamation dos Estados Unidos da América do Norte, que é adotado praticamente no mundo inteiro.

Por tanto, o levantamento pedológico ora apresentado cumpriu todas as exigências, normas, critérios, etc. praticados no Brasil e inclusive, ofereceu dados e recomendações fundamentais para o manejo racional e ecológico dos solos, com vistas à obtenção de produções elevadas e auferimentos de lucros satisfatórios, em possíveis projetos de irrigação a serem implantados na área.

4.9 MÉTODOS DE TRABALHO

4.9.1 Trabalhos de Escritório

Os trabalhos foram realizados em duas etapas distintas. A primeira foi prévia aos serviços de campo e, a segunda, posterior inclusive, aos trabalhos de laboratórios.

Na fase inicial procedeu-se aos seguintes trabalhos:

- Coleta e análise de todas as informações existentes na área de interesse para os estudos;
- Seleção de material cartográfico e bibliográfico;
- Elaboração da estratégia dos serviços de campo;
- Organização do material a ser levado para a execução dos serviços de campo;

A segunda fase, trabalhos de escritório constou de:

- Descrição dos fatores de formação dos solos;
- Classificação dos solos e elaboração da Legenda de Classificação definitiva, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da EMBRAPA;
- Descrição das unidades de solo;
- Elaboração de quadros e tabelas de interesse do estudo;
- Classificação das Terras para Irrigação, segundo o *Bureau of Reclamation* dos Estados Unidos;
- Elaboração de quadros de interesse da classificação de terras para irrigação;
- Confecção das plantas de solos e das plantas de classes de terras para irrigação; e,
- Relatório final.

4.9.2 Métodos de trabalhos de campo

Os trabalhos se desenvolveram baseados principalmente na separação, a melhor possível, das diversas unidades de solos, especialmente as agricultáveis aptas à irrigação.

Inicialmente, procedeu-se uma varredura de toda a área a ser levantada, através de caminhamento exaustivo.

Após isto realizado, distribuíram-se em plantas básicas, os pontos dos locais de tradagens e abertura de trincheiras.

Deu-se preferência, a estudar melhor às áreas agricultáveis irrigáveis primeiro, para separá-las muito bem dos solos não irrigáveis e segundo, para obter-se um maior número possível de informações para as recomendações posteriores de uso e manejo, com irrigação.

Foram realizadas 235 (duzentos e trinta e cinco) tradagens, (de 100 a 150 cm de profundidade), todas descritas e anotadas suas coordenadas, descritos 21 (vinte e um) perfis dos quais, 15 analisados, num total de 60 (sessenta) amostras. Todos os perfis tiveram suas coordenadas registradas. Foram realizados 5 (cinco) testes de infiltração pelo método dos anéis concêntricos.

Os testes foram localizados nas unidades pedológicas mais expressivas.

Na ocasião, após a descrição dos perfis, elaborou-se um mapeamento preliminar dos solos, Nesse momento, a preocupação fundamental foi precisar o limite entre os solos agricultáveis irrigáveis e, posteriormente, estes e as áreas não aproveitáveis.

Para a descrição dos perfis adotou-se o Manual de Método Trabalho de Campo.

4.9.3 Trabalhos de Laboratório

As amostras colhidas em campo foram encaminhadas para serem analisadas no laboratório da SOLOQUÍMICA, em Brasília-DF.

Os materiais colhidos, para análises completas, depois de preparados e separadas as frações grosseiras, foram secados e a partir daí, submetidos às seguintes determinações:

Análises Físicas

- Densidade do Solo ou Densidade Aparente – obtida pelo método do torrão parafinado ou do anel volumétrico, no caso, optou-se pelo segundo.
- Densidade de Partícula ou Densidade Real – aplicou-se o método do picnômetro em solo seco na estufa, com o emprego do álcool etílico, para obtenção do volume de solo.
- Umidade a 1/3 de ATM ou 0,033 Mpa – o método anterior da membrana ou placa porosa conforme o U.S.SALINITY.
- Umidade a 15 ATM ou 1,5 Mpa – método da membrana de tensão de Richards, segundo o U.S.Laboratory.

- Análise Granulométrica – método do decímetro com emprego do hexametáfosfato ou do hidróxido de sódio com dispersante. Foi usado este último.

Classificação Textual – baseada no triângulo da classificação americana, segundo o Soil Survey Manual, e determinação das classes de acordo com a tradução sugerida pela sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Análises Químicas

- pH em Água e em KCL – medição por eletrodo de vidro em suspensão solo – H₂O e solo – KCL, na proporção solo líquido de 1:2,5.
- Nitrogênio – determinado pelo método colorimétrico.
- Carbono – usou-se o método volumétrico. Oxidação pelo bicromato de potássio, e titulação pelo Fe (NH₄)₂ (SO₄)₂ · 6H₂O 0,1N com difenilamina como indicador.
- Matéria Orgânica – calculada em função do teor de carbono, pela expressão $C \times 1,724$.
- Relação C/N – obtida pela divisão dos valores de carbono e nitrogênio.
- Cálcio e Magnésio – extraídos com KCL 1N e titulação com EDTA.
- Sódio e Potássio – obtidos através do fotômetro de chama.
- Valor S – calculado pela soma dos valores de cálcio, magnésio, potássio e sódio.
- Hidrogênio – método volumétrico. Extração pelo acetato de cálcio 1N (normal) (pH 7,0) e dosagem pelo hidróxido de sódio.
- Alumínio Trocável – método volumétrico. Extração pelo cloreto de potássio 1N (normal) e titulação com hidróxido de sódio. 0,025 N; com azul bromotimol como indicador.
- Valor T – (capacidade de troca de cátions) – é obtida pela soma do valor S mais H⁺ e mais AL⁺⁺⁺.
- Valor V – (porcentagem de saturação de bases) calculada pela expressão: $100 S/T$.
- Percentagem de Sódio no Complexo de Troca – é obtida pela expressão $100 Na^+/T$.
- Percentagem de Alumínio em Relação S⁺ (AL⁺⁺⁺). Calculada pela expressão $100 (AL^{+++})/S + AL^{+++}$.
- Condutividade Elétrica no Estado de Saturação – é medida na Ponte de Condutividade, no extrato de solo obtido por filtrações a vácuo, depois de feita a determinação da percentagem de saturação.

4.10 CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO

4.10.1 Classificação Adotada

A classificação empregada neste trabalho foi baseada nos critérios preconizados pelo U.S. *Bureau of Reclamation* “BUREC”, que é adotada na maioria dos países do mundo.

A avaliação da aptidão das terras, a serem exploradas com irrigação, é feita por parâmetros físicos e econômicos. Os primeiros envolvem as características principais dos fatores solo, topografia e drenagem. Os segundos enfatizam a questão da produtividade e dos custos para o desenvolvimento da terra que envolvem evidentemente, o maior grau de dificuldade para o alcance do objetivo.

Neste estudo, a classificação das terras para irrigação apoiou-se, principalmente, nos fatores físicos posto que, a coleta de informações de natureza econômica, foram obtidas a partir de dados estimativos.

Assim é que, considerou-se conveniente adotar como comportamento estratégico os seguintes aspectos:

- Considerar a localização e tamanho da propriedade, o perfil do futuro irrigante, o custo da água, o custo desenvolvimento da terra e da produção, do mercado e outros, que são elementos fundamentais e importantes, para satisfazerem os critérios do BUREC.
- Que a terra e a água serão manejadas corretamente, sob o emprego da tecnologia melhor aplicável a cada situação em particular.
- Que a classificação é mutável, desde que novas informações e conhecimentos estejam disponíveis e sejam suficientes para permitir algum tipo de modificação, especialmente no que diz respeito aos aspectos econômicos.

A classificação do BUREC advoga que a produção das culturas é função direta da combinação dos fatores físicos (solo, topografia e drenagem) com os fatores sócio-econômicos (organização social, recursos e grau de tecnologia).

Dessa forma, se depreende claramente que inovações ocorridas nos fatores sócio-econômicos podem, a qualquer momento, tornar uma área de classe desfavorável em condições de ser irrigada.

As classes de terras para irrigação são consideradas como categorias de terras, com características físicas e econômicas similares, capazes de expressarem as suas capacidades de pagamentos e a propiciarem retorno aos investimentos aplicados, para torná-las exploradas sob irrigação.

Do exposto, com a classificação dada aos solos da área estudada, pretendeu-se demonstrar o potencial das terras bem como, suas limitações com vistas à exploração intensiva das mesmas, sob irrigação. Foram reveladas as características principais quer de natureza física como econômica, para que todos subsídios possíveis, a nível dos conhecimentos obtidos, passem a ser transmitidos no futuro aos projetistas, de forma que o manejo seja estabelecido, para que a terra seja permanentemente explorada, auferindo produções satisfatórias.

4.10.2 Definição Geral das Classes de Terra

As classes estabelecidas pela classificação do Bureau são assim definidas:

- **Classe 1** - Ápta: Estas terras são áptas para irrigação podendo ser rápida e eficientemente irrigadas pelo sistema previsto. São capazes de produção, com altos rendimentos, de ampla faixa de cultivos climaticamente adaptados, a custos razoáveis. Os solos apresentam boa e estável estrutura, permitindo fácil penetração das raízes, ar e água, e possuem adequada drenagem interna. A capacidade de retenção de água deve ser adequada para proporcionar umidade para o ótimo desenvolvimento das plantas cultivadas. O solo deve ser livre de sais solúveis ou, havendo sais presentes, poderão ser facilmente lixiviados. Estas terras apresentam alta capacidade de pagamento.
- **Classe 2** - Ápta: Compreende terras com aptidão moderada para irrigação, sendo inferiores as da classe 1 em capacidade produtiva e/ou exigindo custos mais altos para preparo, irrigação e cultivo. Em comparação com a classe 1, o solo pode ter menor capacidade de retenção de umidade, ou permeabilidade menor ao ar, água e raízes, podendo ser ligeiramente salino o que pode limitar a produtividade ou envolver custos moderados para a lavagem dos sais. Limitações topográficas podem incluir superfícies irregulares, que exijam custos moderados para correção, ou glebas pequenas e declives que requerem custos maiores para evitar processos de erosão. Podem ser necessários custos moderados de drenagem, bem como remoção de

vegetação arbórea ou pequena pedregosidade. Esta classe apresenta capacidade de pagamento intermediária.

- **Classe 3** - Ápta: As terras desta classe são áptas para irrigação, porém apresentam deficiência de solo, topografia ou drenagem, as quais são mais severas do que aquelas descritas para classe 2, devido a alguma forte deficiência (simples ou combinação de duas ou três deficiências). As terras desta classe apresentam menor capacidade produtiva e/ou maiores custos de produção e desenvolvimento do que a anterior embora maiores riscos envolvam a sua utilização em agricultura irrigada. Estas terras tem adequada capacidade de pagamento para atender os custos de operação, manutenção e reposição, sob manejo, em unidades de tamanho adequado.
- **Classe 4** - Ápta: As terras desta classe são delimitadas e utilizadas somente em situações especiais, nas quais é necessário diferenciar uma quarta classe, identificar e caracterizar adequadamente terras com rentabilidade marginal. Normalmente, é aplicável somente em estudos em que cultivos especiais ou com alto retorno são considerados; apresentam fortes limitações que restringem a sua utilização, porém possuem os requisitos mínimos para terra arável, sob um proposto.
- **Classe 5** - Provisoriamente Inápta: A aptidão das terras incluídas nesta classe não podem ser determinadas pelos métodos de classificação de rotina, porém são terras que apresentam valor suficiente para serem separadas para estudos especiais. A constituição da classe 5 é provisória, e normalmente muda para uma classe arável ou para a 6, após completados os estudos. Podem ter deficiências de solo, como excessiva salinidade, topografia desfavorável, drenagem inadequada, excessiva cobertura de pedras, ou outras deficiências severas que exigem estudos de agronomia, economia ou engenharia para determinar a arabilidade. Podem ser utilizadas em um projeto, por exemplo, quando existem recursos hídricos em abundância ou déficit de terras melhores.
- **Classe 6** - Inápta: Inclui as terras que não atingem os requisitos mínimos para pagar os custos de operação, manutenção e reposição. Em geral compreende terras com alto declive, erodidas ou quebradas, com solos de textura muito grossa ou muito fina, com pouca profundidade sobre rocha ou duripan; terras com drenagem inadequada e alta concentração de sais solúveis ou sódio, dificilmente removíveis.

Classes de Uso Especial

- **Classe S** - Ápta para irrigação por aspersão, gotejamento ou métodos similares, inclui terras aráveis, que apresentam características que as tornam impróprias para

irrigação gravitativa, como topografia movimentada e texturas grosseiras, que propiciam altas taxas de infiltração, sendo, porém, irrigáveis por aspersão ou métodos similares. Em função da escassa disponibilidade de recursos hídricos na área e da ocorrência de solos com riscos de erosão e outros, as terras foram classificadas para uso especial com irrigação por aspersão, tendo-se diferenciado a seguintes classes.

- **Classe S2** - Terras com aptidão moderada para a irrigação por aspersão ou métodos similares, sendo considerada de produtividade moderada. Os solos são de textura superficial arenosa ou média, com médias ou altas taxas de infiltração, fertilidade média ou baixa, relevo plano ou suave ondulado, bem drenados a acentuadamente drenados.
- **Classe S3** - Terras com aptidão fraca a moderada para a irrigação por aspersão ou métodos similares, sendo considerada de produtividade moderada. Os solos são de textura superficial arenosa ou média, com altas taxas de infiltração, fertilidade baixa, relevo plano ou suave ondulado, bem a fortemente drenados.

Subclasses

As classes podem ser subdivididas em subclasses em função das limitações apresentadas pelas terras, que podem estar relacionadas ao próprio solo, a topografia ou a drenagem, exemplo, sub-classe 3sd ou 3sdt, etc.

A classe 1, por tratar-se de terras sem limitações mínimas, não admite subclasses.

Nas condições da área estudada foram apontadas as seguintes limitações, que contam como informações adicionais:

De solo (S)

y – fertilidade natural baixa

i – alta taxa de infiltração

v – textura muito grossa

q – baixa capacidade de água disponível.

De Topografia (t)

Não apresenta limitações

De Drenagem (d)

w – não apresenta limitações

Com o objetivo de melhor caracterizar as classes e subclasses de terras, foram considerados os aspectos referentes a uso da terra, produtividade, custo de desenvolvimento, necessidade de água e drenabilidade das terras.

- Uso atual da terra
 - B - Mata ou capoeira, incluindo pequenas áreas desmatadas
 - L - Lavouras e pastagens, não irrigadas.
- Produtividade
 - 1 - Alta
 - 2 - Média
 - 3 - Baixa
 - 4 - Especial
 - 6 - Muito baixa
- Custo de desenvolvimento
 - 1 - Baixo
 - 2 - Médio
 - 3 - Alto
 - 4 - Especial
 - 6 - Muito alto
- Necessidade de água
 - A - Baixa
 - B - Média
 - C - Alta
- Drenabilidade das terras
 - X - Boa
 - Y - Moderada

Z - Pobre

Drenabilidade das terras

Avaliação consiste em uma estimativa da drenabilidade interna da terra, levando em conta os fatores físicos e químicos que contribuem para a velocidade do movimento da água através do solo, subsolo e substrato. A indicação da drenabilidade se faz pelos seguintes símbolos:

X - Boa

Y - Moderada

Z - Pobre

W - Crítica

4.10.3 Representação Cartográfica

A representação cartográfica da aptidão das terras para irrigação é feita sob a forma de fração. Constam do numerador algarismo (2, 3, etc) e as letras S, R, P, etc, que representam as classes, seguido de letras (s, t, d) que representam a subclasse. No denominador constam dados de uso atual ou vegetação, produtividade, custo de desenvolvimento, necessidade de água e drenabilidade da terra. Após a fração, seguem-se letras que representam informações adicionais referentes a limitações de solo, topografia e drenagem, conforme o exemplo a seguir:

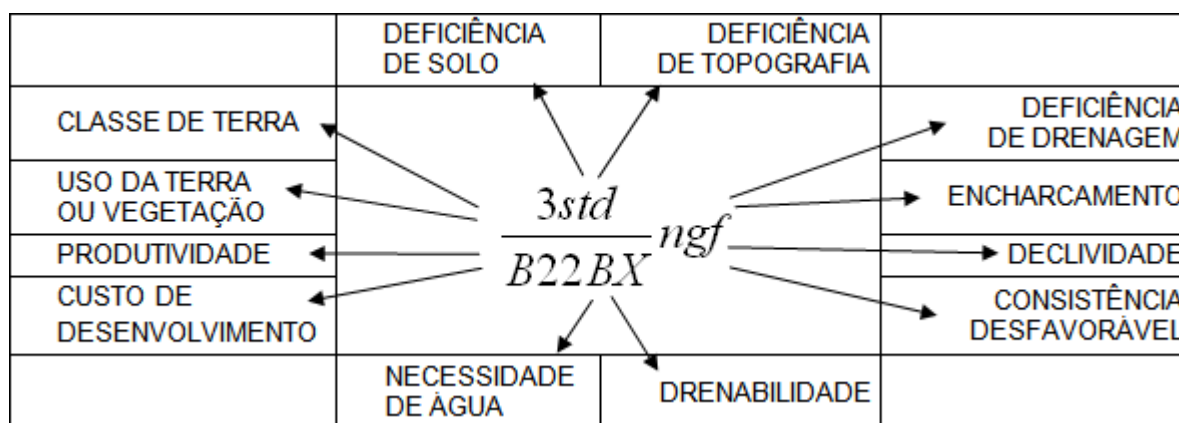


Figura 0.1 - Exemplo da fração de Classe de Terra para Irrigação

4.11 ESPECIFICAÇÕES PARA CLASSIFICAÇÃO DAS TERRAS PARA IRRIGAÇÃO

A totalidade das terras potencialmente irrigáveis na área estudada, não admitem irrigação por gravidade em razão da textura leve dos solos que a integram. Os métodos de irrigação localizada são os aconselháveis, face às altas taxas de infiltração dos solos.

No **Quadro 0.1** são representados os parâmetros considerados para a classificação das terras segundo a sua aptidão para a irrigação.

Quadro 0.1 : Especificações Para Determinação Das Classes De Solos Para Irrigação

CARACTERÍSTICAS DA TERRA	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4S	CLASSE 5	CLASSE 6
Textura superficial (0-30 cm)	Média a argilosa permeável	Mádia (leve) a argilosa	Arenosa a argilosa	Arenosa a argilosa	Arenosa a argilosa	Arenosa a muito argilosa
Subsuperficial (30 – 120 cm)	Média a argilosa permeável	Média a argilosa	Média (leve) a argilosa	Média a argilosa	Média a argilosa	Arenosa a muito argilosa
Profundidade:						
Até materiais permeáveis (concreções Cascalho ou Calhaus)	>90	>70	>50	>50	>40	<30
Até materiais semipermeáveis (Fragipã, Saprolito ou Rocha semipermeável)	>100	>80	>60	>60	>50	<40
Até materiais impermeáveis (duripã Horizonte plânico ou Rocha)	>110	>90	>70	>70	>60	<50
Capacidade de água disponível						
Cm de água nos primeiros 30cm	>3,0	>1,5	0,6	>0,3	>0,2	<0,2
Cm de água até 120 cm	>9,0	>2,2	1,5	>0,7	>0,5	<0,5
Capacidade de Troca de Cátions						
CTC (0-30 cm) em cmol _c /kg de solo	>8,0	>5,0	>3,0	>2,0	>2,0	<2,0
Cátions Trocáveis						
Ca ²⁺ + Mg ²⁺ (0-30 cm) em cmol _c /kg de solo	>3,0	>2,0	>1,2	>0,8	>0,6	<1,0
Alumínio Trocável:						
Al ³⁺ (0-30 cm) em cmol _c /kg de solo	0	<1,0	<2,0	>4,0	<6,0	>8,0

Reação (pH em água) (0-30 cm)	5,4 a 7,3	5,4 a 7,3	4,3 a 8,3	5,0 a 8,0	<8,5	>8,5
Saturação por Sódio em %	<6	<9,0	<15	<15	<17	>17
Condutividade Elétrica CEC em dS/m a 25°C até 120 cm	<1,5	<3,0	<4,0	<5,0	<6,0	>5,0
Topografia Declividade em %	<2	<3	<8	<10	<15	<20
Pedregosidade	Não Pedregoso	Não Pedregoso	Não ou pouco Pedregoso	Pouco Pedregoso	Pedregoso	Muito pedregoso
Drenagem Superficial (inundações e enchentes)	Ausente	Ausente	Ocasional	Ocasional	Ocasional a Freqüente	Muito Freqüente
Interna	Acentuadamente a Moderadamente	Acentuadamente a Moderadamente	Acentuadamente a Moderadamente	Acentuadamente a Moderadamente	Bem a Mal drenado	Mal a muito mal drenado
Drenabilidade do Perfil	Boa	Boa	Restrita	Pobre	Restrita a Crítica	Crítica

4.12 CLASSES E SUBCLASSES DE TERRA PARA IRRIGAÇÃO NA ÁREA

As classes de terras para irrigação encontradas na área são as relacionadas a seguir:

Quadro 0.2 - Classes de terras para irrigação

Classe	Aptidão para irrigação
S3s yqi B31CX	Terras aptas para irrigação, com moderadas limitações de baixo nível de fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de umidade e alta velocidade de infiltração. Unidades de Mapeamento RQo1 e RQo2.
6s	Terras inaptas para irrigação, por fortes limitações de solos. Unidade de Mapeamento RQo3.
6sd	Terras inaptas para irrigação, por fortes limitações de solos e de drenagem. Unidades de Mapeamento RRq e RU.

4.13 DESCRIÇÃO DAS CLASSES DE TERRAS PARA IRRIGAÇÃO

Classe S2

$$\frac{S2s}{B(L)23CX}^y$$

Sub-classe

Esta sub-classe é formada pelos solos das unidades LVd1, LVd2, LVd3 e LVd5. A sub classe perfaz um total de 1.209,57 ha que equivalem a 38,80% da área levantada.

Os solos são muito profundos ou profundos, ocupam relevo plano ou suave ondulado e são acentuadamente drenados. As limitações principais dizem respeito a baixa fertilidade, alicidade e elevada permeabilidade.

A aptidão cultural é muito vasta, abrigando praticamente todos os tipos de fruteiras e hortaliças e muitas culturas anuais, desde que sejam exploradas na região ou adaptáveis à mesma.

A correção ou redução das limitações, propiciará a expectativa de grandes produções. A matéria orgânica terá papel muito importante na melhoria geral das características morfológicas e propriedades físicas, químicas e na atividade microbiológica dos solos.

A irrigação não pode ser conduzida por métodos com a água distribuída no solo por gravidade.

A mecanização agrícola pode ser feita sem limitações, mas não deve ser muito agressiva, principalmente nas áreas com relevo suave ondulado. Pode inclusive, ser dispensada.

Classe S3

Sub-classe

$$\frac{S2sd}{B(L)23CX}^{yiq}$$

A sub-classe é constituída pelos solos das unidades LAd4, RQo1, RQo2 e RQo3, que em conjunto reúnem 1.644,29 ha equivalentes a 52,74% da área total levantada.

Os solos, em sua maioria, ocupam relevo plano ou suave ondulado. São muito profundos, quase sempre fortemente drenados ou acentuadamente drenados, como no caso do LAd₄.

As limitações mais restritivas dizem respeito a elevada taxa de infiltração da água e a pouca fertilidade além da textura arenosa e suas consequências. A redução do efeito destas limitações passa pelo uso de incorporação e/ou aplicação de matéria orgânica ao solo.

As adubações com fertilizantes minerais são indispensáveis e devem ser feitas com todos os cuidados, para evitar-se perdas significativas dos elementos químicos por lixiviação.

O solo admite exploração com diversas culturas conforme consta na descrição das unidades, que compõem esta classe.

A mecanização agrícola pode ser praticada sem preocupações.

Os métodos de irrigação localizada são os mais indicados. A irrigação por gravidade não pode ser adotada. O ideal é irrigação por gotejamento associada à fertirrigação.

Classe 6

Sub-classe

6s

Não agricultável. Corresponde a solos arenosos e rasos além de associados a afloramentos rochosos ou ainda, apenas afloramentos rochosos. Somam 263,61 há, correspondentes a 8,46% da área total levantada.

4.14 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

4.14.1 Conclusões:

- A grande maioria dos solos da área do estudo apresentam condições de serem irrigados. São 2.853,86 ha equivalentes a 91,54% da área total.
- Para os solos irrigáveis, tiram-se as seguintes conclusões abaixo listadas:
 - 1- A irrigação não pode ser praticada por gravidade.

- 2- Os aspectos favoráveis dizem respeito à topografia plana e suave ondulada, solos muito profundos, não existe problema de drenagem, os solos não correm risco de salinidade e nem alcalinidade.
- 3- Os aspectos desfavoráveis são a baixa capacidade de água disponível, as altas taxas de infiltração da água nos solos de textura arenosa ou média, a fertilidade baixa, combinada com o caráter álico.
- 4- A mecanização agrícola pode ser praticada sem restrições, nas áreas de relevo plano, porém são plenamente dispensáveis.
- 5- Os métodos de irrigação localizada são os mais indicados, especialmente gotejamento e micro-aspersão.
- 6- A grande maioria das unidades de solo apresenta ampla aptidão cultural.
- 7- A vocação natural dos solos está voltada para fruticultura e hortalicultura e culturas anuais que se comportam bem em solos, friáveis e muito porosos, podem ser cultivadas com sucesso.
- 8- É fundamental o uso da matéria orgânica nos solos.
- 9- As áreas a serem projetadas para a irrigação dispensam sistemas artificiais de drenagem.
- 10- Os solos não dispensam correção com calcário dolomítico e adubações minerais.
- 11- Os solos apresentam em teoria, condições favoráveis à erosão posto que, são friáveis e arenosos em superfícies, porém a condição de relevo plano praticamente neutraliza esta possível susceptibilidade. Na parte de relevo suave ondulado e pendentes, deve-se adotar práticas conservacionistas, como curvas de níveis e limpas em faixas alternadas. A erosão principal, se é que podemos nos referir assim, ocorre por lixiviação dos elementos químicos dos solos.
- 12- A baixa fertilidade dos solos tem a ver com a própria composição da rocha arenítica que constitui o material de origem. A argila dos solos é do grupo das caulinitas (1:1); os baixos valores da soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação de bases; muito baixos níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, associados a altos percentuais de alumínio livre, conduzem os solos a uma baixa fertilidade.

4.14.2 Recomendações sobre o Aproveitamento Agrícola sob Irrigação da Área estudada:

- Corrigir a acidez do solo e a alicidade com calcário dolomítico, porém não usar doses elevadas de uma única vez, para evitar-se a formação de argamassa superficial.
- As praticas mecanizadas de preparo dos solos para plantios, podem ser reduzidas a simples gradagens cruzadas.
- Nas áreas do relevo suave ondulado e nas pendentes do relevo no sentido dos vales, deve-se fazer uso de práticas conservacionistas como: preparo dos solos, tratos culturais e plantios, em curvas de níveis; limpas em faixas alternadas. Para plantios de espécies arbóreas as limpas devem ficar restritas à projeção das copas das árvores e nos espaços restantes entre as árvores, fazer-se apenas rãos. O mato do rão, após a secagem, pode permanecer na superfície do solo e uma parte ser acumulada nas áreas que foram limpas abaixo das árvores.
- As adubações devem ser do tipo organo-mineral.
- A adubação orgânica terá funções de melhoria das características morfológicas do solo (estruturação), aumentar a capacidade de troca de cátions (dar condições de maior aproveitamento dos elementos químicos da adubação mineral), aumentar a capacidade de água disponível (reduzindo a quantidade de água das aplicações de regas), reduzir a lixiviação dos elementos químicos do solo, aumentar a atividade microbiológica (que irá mineralizar a matéria orgânica) e outras funções complementares benéficas.
- O sucesso do projeto está intimamente relacionado ao controle e redução progressiva da infiltração, correção do solo e sua fertilização correta.
- A adubação orgânica pode ser processada pela incorporação de adubos verdes, uso de estêrco, mulching.
- A adubação mineral deve ser cuidadosa na escolha dos fertilizantes para que o efeito residual dos mesmos não seja no sentido de acidificar o solo.
- A adubação mineral referente aos adubos nitrogenados e potássicos, deve ser parcelada. A fertirrigação é interessante para os solos da área do projeto.

- Nas áreas das unidades RQos deve-se priorizar o cultivo de hortaliças e/ou espécies frutíferas arbóreas adaptadas a solos arenosos como caju, manga, graviola, goiaba, ou fruteiras de baixo porte ou rasteiras como melão, melancia e abacaxi ou outras.
- A irrigação por gravidade não pode ser processada.
- Os métodos de irrigação mais indicados são os localizados, especialmente gotejamento e micro-aspersão.
- Não devem ser aplicadas lâminas de água espessas nas regas e sim, lâminas pequenas com turnos de regas mais freqüentes.
- O monitoramento dos solos com relação a fertilidade e infiltração, deve ser constante e muito bem conduzido.
- É importante pesquisar as condições dos micro-elementos dos solos.

5 CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS

6. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS

Estudos geológico e geotécnico

As sondagens investigaram a faixa superficial do maciço, até uma profundidade máxima da ordem de 30 metros, suficiente para definição das condições de contorno do projeto da barragem e das obras anexas.

A cobertura de solos é modesta, variando entre inexistente até a espessura máxima da ordem de 3,5 metros, observada na SMB-13, próximo à margem esquerda do rio.

Prepondera no sítio um arenito coerente, com estratificação incipiente e um sistema de fraturas predominantemente sub-horizontais, secundado por fraturas oblíquas a subverticais. A coerência do arenito aumenta, de um modo geral, com a profundidade, alcançando os níveis C1/C2 em longos trechos, em que o grau de faturamento diminui para F1/F2.

A homogeneidade do pacote sedimentar é interrompida, com frequência, por níveis muito fraturados, ou em fragmentos e por trechos em que o material rochoso perde consistência, tornando-se pouco coerente e friável (C3/C4), até incoerente (C5).

Com relação à queda de coerência, a presença desses níveis decorre, em geral, da conjugação dos efeitos do intemperismo superficial com fatores ligados à gênese dos sedimentos, em que o processo de diagênese, ou consolidação dos sedimentos, não foi suficientemente intenso para produzir a litificação dos mesmos.

Quanto à permeabilidade do maciço rochoso de fundação, têm-se as seguintes observações:

Os cerca de 110 ensaios de permeabilidade realizados nas sondagens revelaram que a fundação da barragem é, em média, bastante permeável. Em diversos casos, os ensaios não puderam ser feitos, pela dificuldade em obturar-se o trecho, devido à fragilidade do material. Em algumas sondagens foi constatada a perda d'água de circulação, durante o avanço do equipamento de perfuração.

Os maiores valores de permeabilidade são encontrados na porção superficial do maciço rochoso, preponderando a faixa de três a seis metros de profundidade. Chama a atenção, entretanto, a sondagem SMB-04, situada no fundo do vale, a montante do eixo da barragem, que revelou características de alta permeabilidade em profundidade, entre 22 e 26 metros, aproximadamente (uma perda total e dois casos de não obturação). As características de elevado faturamento dos testemunhos entre 12 e 26 metros induzem a suspeitar que esta sondagem tenha interceptado um

falhamento geológico (**Foto 10**). As outras sondagens feitas no fundo do vale (SMB-03 e SMB-06) não apresentaram o mesmo padrão de comportamento, em profundidade.

Como regra geral, dada a granulometria extremamente fina dos arenitos locais, infere-se que a permeabilidade do maciço rochoso está vinculada às características de condutividade hidráulica das descontinuidades, uma vez que a matriz é praticamente impermeável.

Numa avaliação das condições de fundação da barragem, sangradouro e canais associados, observamos que:

O maciço arenítico é adequado a servir de fundação para a barragem, após remoção do horizonte de solos superficiais, que alcança, em média, a espessura de um a dois metros, estando praticamente ausente em diversos trechos da área de implantação da barragem. Na presença de horizonte superficial de solos residuais de arenito, as escavações irão avançar até atingir níveis de consistência/compacidade que reflitam a boa capacidade de suporte.

Os levantamentos por sísmica de refração e eletrorresistividade contribuíram para a definição das características do subsolo, preenchendo os hiatos entre as sondagens mecânicas. A sísmica de refração, em particular, estabeleceu uma diferenciação entre materiais escaváveis por meios mecânicos, escarificáveis e não escarificáveis, cujo cunho de praticidade deverá ser aferido no início dos trabalhos construtivos.

A heterogeneidade dos sedimentos da formação Serra Geral se reflete nas características geotécnicas e geomecânicas dos materiais de fundação das estruturas de barramento, nos aspectos de resistência, deformabilidade e permeabilidade. Em particular, a presença de horizontes arenosos não consolidados pode acarretar sérios riscos no controle de percolação d'água pela fundação das estruturas, o que exigiu que o projeto se cercasse de todos os possíveis cuidados e dispositivos, para evitar processos de arraste de partículas, com conseqüente aparecimento de cavidades e surgências de água do lado jusante do barramento.

Dadas as características de heterogeneidade do arenito referidas anteriormente, com a ocorrência de níveis e estratos inconsolidados, o projeto da barragem teve que lançar mão de diversos dispositivos para redução dos gradientes hidráulicos e controle de fluxo pela fundação.

A área do sangradouro, que inclui o canal de aproximação, a faixa do Creager, o rápido de restituição das águas e uma bacia de dissipação, se localiza na ombreira direita e foi investigada de forma bastante intensa pela campanha de sondagens (nove sondagens), além de ter sido feito o

mapeamento geológico de superfície. Entretanto, as sondagens se concentraram na parte mais alta da ombreira e não forneceram subsídios para a área de implantação da bacia de dissipação.

As sondagens SMB-07, SMB-08 e SMB-10, as mais próximas do Creager, indicaram que na cota de assentamento da estrutura ocorre arenito coerente (C1/C2), medianamente fraturado (F2/F3). Este quadro é favorável ao assentamento das estruturas, mas poderão ser necessários aprofundamentos localizados da superfície de fundação, para eliminação de bolsões de material inadequado.

Na área do canal de aproximação, onde serão implantados os muros laterais e que foi investigada pela sondagem SMB-19, as condições do maciço não são bem conhecidas. A real situação do piso do canal e da fundação dos muros somente será conhecida com o avanço das escavações, devendo-se prever que trechos de fundação em que ocorra material incoerente deverão ser aprofundados, no caso dos muros, ou protegidos com camada de concreto, no caso do piso do canal. A esse respeito, vale a pena lembrar a experiência da barragem de Jaburu, onde o piso do canal de aproximação ao vertedouro foi alvo de erosões intensas e diferenciadas, entre camadas de arenito de baixa e de alta coerência.

A jusante da área de implantação do Creager, no trecho de encosta onde se desenvolve o rápido, que termina em uma bacia de dissipação, foram realizadas cinco sondagens (SMB-17, SMB-18, SMB-20 e SMB-21 e SMB-22). Trata-se de sondagens com 10 a 25 metros de extensão que, invariavelmente, mostram a alternância de trechos de rocha competente (C1 a C3), com trechos de material friável (C4/C5). Isso acarretou a necessidade de revestimento integral do rápido por laje de concreto, com a implantação de um sistema de drenagem sob a laje, em espinha de peixe, além da ancoragem da própria laje.

As técnicas de investigação por geofísica buscaram respostas para questões relacionadas com a definição da cota de assentamento da bacia de dissipação, bem como para definição da profundidade de rocha removível com escarificador. Os dados obtidos com sísmica indicaram que o melhor local se situa na porção final do perfil investigado, entre as estacas 13 e 15 (estaqueamento do desenho da geofísica), onde o topo da rocha se aproxima da superfície do terreno. Esta área, entretanto, carece de investigações diretas (sondagens mecânicas), que é recomendável sejam feitas com o prosseguimento dos estudos.

Estudos hidrológicos

Os estudos hidrológicos teve como objetivos (1) estimar a sua capacidade de regularização dos Açudes Inhuçu (Eixo Sotero) e Lontras (Eixo I) e (2) estimar as cheias raras, com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, para a verificação da segurança das duas barragens.

Foram simulados três cenários de topologias – Lontras I isolado (Cenário A), Inhuçu-Sotero isolado (Cenário B) e os dois reservatórios em série (Cenário C). No Cenário A, adotou-se a capacidade do reservatório Lontras I igual a 350 hm³ (correspondente à cota que não alaga a sede municipal de Croatá). No Cenário B, adotou-se, para o reservatório Inhuçu, a capacidade de 100 hm³ (a capacidade máxima para este reservatório seria de 180hm³, correspondente à cota que inunda o distrito de Barra de Sotero). O Cenário C foi dividido em sete sub-cenários – C1 a C7 - variando-se a capacidade do Açude Lontras entre 350 e 320 hm³ e do Açude Inhuçu, entre 40 e 100 hm³, desde que o somatório das duas não excedesse a capacidade máxima conjunta de 420 hm³, estabelecida pelo Marco Regulatório (Resolução 547/2006 ANA/SRH-CE/SEMAR-PI).

Simulando-se os Cenários A, B e C para o Açude Lontras I, Inhuçu/Sotero e para o Sistema formado pelos dois reservatórios em série, observou-se que, para o Sistema, independentemente da topologia adotada para o Cenário C (sete alternativas), o mesmo se comporta hidrológicamente da mesma maneira, ou seja, regulariza algo em torno de 4,3 m³/s, devido à uma compensação entre os dois reservatórios, o que tornou possível a escolha da capacidade do Inhuçu-Sotero que melhor atendesse outros requisitos importantes, tais como manchas de solo. Sendo assim, o Cenário escolhido foi o C1, ou seja, aquele que considera o Açude Inhuçu com 40 hm³ a montante do Açude Lontras, com 350 hm³ de capacidade, regularizando 1,05 m³/s (Inhuçu-Sotero) e 3,2 m³/s (Lontras I).

Para dimensionamento dos vertedouros das duas barragens, utilizou-se o software HEC-HMS. Para a definição da largura e lamina do sangradouro da barragem Lontras considerou-se a inexistência da barragem Inhuçu a montante e simulou-se o vertedouro com três larguras – 80, 100 e 120m.

A capacidade de amortecimento da barragem Lontras se mostrou bem significativa, oscilando entre 47 a 61%. As lâminas observadas foram de 2,4 a 2,8 metros (cheia milenar) e 3,1 m (L=120m) a 3,6 m (L=80m), para a cheia decamilenar.

A definição final da largura dos dois vertedouros ficará vinculada a considerações construtivas, mas observa-se que os valores de lâminas encontradas para as cheias decamilenares, em ambas as barragens, estão dentro de uma faixa valores considerados seguros.



consórcio