



**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 2 - PROJETO EXECUTIVO

Tomo 1 - Relatório de Concepção 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

Tomo 1: Relatório de Concepção Geral

Dezembro de 2012

ÍNDICE

ÍNDICE GERAL

Páginas

ÍNDICE	2
1. INTRODUÇÃO	13
2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	17
3. FICHA TÉCNICA	21
4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS	27
4.1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS	28
4.1.1. Metodologia Utilizada nos Estudos	29
4.1.1.1 Estimativa das Cheias Máximas	29
4.1.1.2 Estimativa da Capacidade de Regularização do Reservatório	29
4.1.2. Caracterização Física	30
4.1.3. Caracterização Climatológica	32
4.1.3.1. Temperatura.....	34
4.1.3.2. Umidade Relativa.....	35
4.1.3.3. Evaporação.....	35
4.1.3.4 Evapotranspiração Potencial	36
4.1.3.5. Insolação	37
4.1.3.6. Velocidade dos Ventos.....	37
4.1.3.7. Regime de Chuvas	38
4.1.3.8. A Variabilidade Interanual das Chuvas na Bacia das Barragens Inhuçu e Lontras...	43
4.1.4. Caracterização Morfométrica das Barragens Inhuçu e Lontras	44
4.1.5. O Regime De Chuvas Intensas Nas Bacias Das Barragens Inhuçu e Lontras	47
4.1.5.1. Seleção da distribuição de probabilidades e estimativas de precipitações máximas anuais.....	50
4.1.5.2. Características das Séries de Chuvas Máximas com 1 dia de Duração.....	50
4.1.5.3. Chuvas máximas com durações de 24 horas	51
4.1.5.4. Chuvas Máximas com Duração de 1 hora.....	51
4.1.5.5. Conversão da chuva pontual em chuva espacial	52
4.1.6. O regime fluvial do rio Inhuçu nas barragens Inhuçu e Lontras	58
4.1.6.1. Dados fluviométricos disponíveis.....	58
4.1.6.2. Vazões em Estudos Anteriores: Análise comparativa	60
4.1.7. A capacidade de regularização das barragens Lontras e Inhuçu	61
4.1.8. Estudo de Cheias e do Vertedouro	66
4.1.8.1 Introdução.....	67
4.1.8.2. A chuva de projeto	67

4.1.8.3. Método Chuva-Deflúvio Adotado.....	69
4.1.8.4. As cheias máximas com tr = 1.000 e 10.000 anos afluentes e efluentes ao reservatório lontras	70
4.2. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS E TOPOGRÁFICOS	75
4.2.1 Estudos Cartográficos	75
4.2.1.1 Transporte de Cotas e de Coordenadas	75
4.2.1.2. Aerotriangulação.....	86
4.2.1.3 Restituição Digital.....	90
4.2.1.4 Ortorretificação.....	91
4.2.1.5 Mosaicagem, processamento da imagem e corte das folhas	94
4.2.1.6. Edição Cartográfica.....	96
4.2.2 Levantamentos Topográficos.....	96
4.2.2.1 Levantamento do Eixo Barrável	96
4.2.2.2 Levantamento do Canal de Restituição	97
4.2.2.3 Levantamento de Jazidas	98
4.2.2.4. Pedreira de Arenito	100
4.3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS.....	101
4.3.1 Geologia Regional.....	101
4.3.2 Geologia Local.....	105
4.3.2.1 Estratigrafia	105
4.3.2.2 Aspectos fisiográficos do sítio	106
4.3.2.3 Erodibilidade e assoreamento.....	112
4.3.3 Campanhas de investigações.....	116
4.3.3.1 Campanha de sondagens	116
4.3.4 Campanha de estudos geofísicos.....	118
4.3.4.1. Imageamento Geométrico	119
4.3.4.2. Sísmica de Refração	120
4.3.4.3 Considerações finais sobre os estudos geofísicos.....	120
4.3.5 Aspectos geológicos e geotécnicos da área da barragem.....	121
4.3.5.1 Solos de cobertura	121
4.3.5.2 Características do maciço rochoso.....	123
4.3.5.3. Permeabilidade do maciço rochoso	133
4.3.5.4. Caracterização do lençol freático	135
4.3.5.5 Condições de fundação	136
4.3.6. Estudo dos materiais construtivos	138
4.3.6.1. Jazidas de solo	140
4.3.6.2. Areal	161
5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM	164

5.1. GENERALIDADES	165
5.2. ESCOLHA DO EIXO BARRADO	171
5.3. ESCOLHA DO TIPO DE BARRAGEM	174
5.4. FUNDAÇÃO	176
5.4.1 Considerações gerais.....	176
5.4.2. Tratamento da fundação.....	180
5.5. MACIÇO DA BARRAGEM.....	187
5.6. INSTRUMENTAÇÃO	193
5.7. SANGRADOURO.....	195
5.7.1. Canal de Aproximação	195
5.7.2. Muro de Vertimento do Sangradouro.....	196
5.7.3. Canal de Restituição	196
5.7.4. Juntas de Dilatação	197
5.7.5 Sistema de Drenagem.....	198
5.7.6. Escavação do Sangradouro	199
5.7.7. Aterros no Sangradouro	199
5.8. TOMADA D'ÁGUA	199
5.9. DESCARGA DE FUNDO	201
5.10. ETAPAS CONSTRUTIVAS.....	202
5.10.1. Generalidades	202
5.10.2. Período de Execução.....	203
5.10.3. Descrição da Metodologia de Execução	203
6. CANTEIRO DE OBRAS.....	206
7. CRONOGRAMA FÍSICO.....	209
8. EQUIPAMENTO MÍNIMO	212
8.1. RELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS MÍNIMOS	213

ÍNDICE DE FIGURAS

Páginas

FIGURA 2.1- MAPA DE LOCALIZAÇÃO (CONTEXTO ESTADUAL)	19
FIGURA 2.2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO (CONTEXTO MUNICIPAL).....	20
FIGURA 4.1.1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO EM RELAÇÃO À BACIA DO POTI E ÀS SUAS BACIAS VIZINHAS NO ESTADO DO CEARÁ.....	31
FIGURA 4.1.2 - HIDROGRAFIA DA BACIA DAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS.....	32
FIGURA 4.1.3 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS DE SOBRAL E CRATEÚS EM RELAÇÃO À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INHUÇU (RETÂNGULO EM VERMELHO)	33
FIGURA 4.1.4 - TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS NA ÁREA EM ESTUDO (EM °C). FONTE: INMET (1990).....	34
FIGURA 4.1.5 - UMIDADE RELATIVA (%) NA ÁREA EM ESTUDO	35
FIGURA 4.1.6 - EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL NA ÁREA EM ESTUDO (FONTE: INMET (1990))	36
FIGURA 4.1.7 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO MENSAL MÉDIA NA ÁREA EM ESTUDO ESTIMADA POR HARGREAVES E PENMAN-MONTHEITH (MM)	37
FIGURA 4.1.8 - ISOIETAS DAS BACIAS DO POTI, ACARAÚ E COREAÚ (RETÂNGULO EM VERMELHO MARCA A ÁREA EM ESTUDO)	39
FIGURA 4.1.9 - POLÍGONO DE THIESSEN DA ÁREA EM ESTUDO, COM AS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DE CADA POSTO.....	40
FIGURA 4.1.10 - O REGIME DE CHUVAS NO POSTO GUARACIABA DO NORTE.....	42
FIGURA 4.1.11 - O REGIME DE CHUVAS NO POSTO CARNAUBAL.....	42
FIGURA 4.1.12 - O REGIME DE CHUVAS NO POSTO CROATÁ	43
FIGURA 4.1.13 - PRECIPITAÇÕES ANUAIS NOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS CROATÁ E GUARACIABA DO NORTE	44
FIGURA 4.1.14 - CURVA COTA (M) X VOLUME (HM³) DA BARRAGEM LONTRAS	46
FIGURA 4.1.15 - CURVA COTA (M) X VOLUME (HM³) DA BARRAGEM INHUÇU	46
FIGURA 4.1.16 - ISOZONAS DE IGUAL RELAÇÃO (FONTE: TORRICO, 1975).....	49
FIGURA 4.1.17 - CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA A BACIA DA BARRAGEM INHUÇU COM TR= 1.000 E 10.000 ANOS, UTILIZANDO O POSTO GUARACIABA DO NORTE.	54
FIGURA 4.1.18 - CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA A BACIA DA BARRAGEM LONTRAS COM TR= 1.000 E 10.000 ANOS, UTILIZANDO O POSTO GUARACIABA DO NORTE	55
FIGURA 4.1.19 - 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.....	56
FIGURA 4.1.20 - VAZÕES MÉDIAS MENSAIS AFLUENTES À BARRAGEM LONTRAS (HM³)	59
FIGURA 4.1.21 - VAZÕES MÉDIAS MENSAIS AFLUENTES À BARRAGEM INHUÇU (HM³).....	60

FIGURA 4.1.22 - VAZÕES REGULARIZADAS PELAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU E PELO SISTEMA NOS CENÁRIOS A, B E C (EM HM³).....	65
FIGURA 4.1.23 - NÍVEL DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (EM HM³) E GARANTIA ASSOCIADA A RETIRADA DE 3,0M³/s.....	66
FIGURA 4.1.24 - CHUVA BALANCEADA DE 14 HORAS PARA Tr=1.000 ANOS PARA LONTRAS	68
FIGURA 4.1.25 - CHUVA BALANCEADA DE 14 HORAS PARA Tr=10.000 ANOS PARA LONTRAS.....	69
FIGURA 4.1.26 - HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO DO SOIL CONSERVATION SERVICE	69
FIGURA 4.1.27 - HIDROGRAMA DO AMORTECIMENTO DA CHEIA MILENAR NO BARRAGEM LONTRAS.....	71
FIGURA 4.1.28 - HIDROGRAMA DO AMORTECIMENTO DA CHEIA DECAMILENAR NO BARRAGEM LONTRAS... 	72
FIGURA 4.1.29 - SUMÁRIO DO AMORTECIMENTO DA CHEIA MILENAR - (L=80M).....	72
FIGURA 4.1.30 - SUMÁRIO DO AMORTECIMENTO DA CHEIA DECAMILENAR - (L=80M).....	73
FIGURA 4.1.31 - SUMÁRIO DO AMORTECIMENTO DA CHEIA MILENAR - (L=100M).....	73
FIGURA 4.1.32 - SUMÁRIO DO AMORTECIMENTO DA CHEIA DECAMILENAR - (L=100M).....	74
FIGURA 4.1.33 - SUMÁRIO DO AMORTECIMENTO DA CHEIA MILENAR - (L=120M).....	74
FIGURA 4.1.34 - SUMÁRIO DO AMORTECIMENTO DA CHEIA DECAMILENAR - (L=120M).....	75
FIGURA 4.2.1 - GCP-07.....	81
FIGURA - 4.2.2: GCP-09.....	81
FIGURA 4.2.3 - VARIAÇÃO DAS ONDULAÇÕES DO GEÓIDE EM SIRGAS2000	84
FIGURA 4.2.4 - DISTRIBUIÇÃO DO ERRO PADRÃO OBTIDO A PARTIR DA COMPARAÇÃO ENTRE ESTAÇÕES GPS E RN'S (FONTE IBGE, 2010)	85
FIGURA 4.2.5 - EXEMPLO DA DISTRIBUIÇÃO AUTOMÁTICA DOS PONTOS DE ENLACE GERADOS NO SOFTWARE MATCH-AT, APÓS O PROCESSO DE CORRELAÇÃO AUTOMÁTICA.	88
FIGURA 4.2.6 - EXEMPLO DA DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE APOIO INSERIDOS NO BLOCO DE AEROTRIANGULAÇÃO.....	89
FIGURA 4.2.7 - EXEMPLO DA ANÁLISE GRÁFICA DA DISTRIBUIÇÃO E AMARRAÇÃO DOS TIE POINTS.	90
FIGURA 4.2.8 - EXEMPLO DO AMBIENTE DE ANÁLISE E EDIÇÃO DO SOFTWARE DTMASTER. A FIGURA DA ESQUERDA MOSTRA A DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS GERADOS NO PROCESSO DE CORRELAÇÃO E A DA DIREITA O CORRESPONDENTE MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT).....	92
FIGURA 4.2.9 - PRINCÍPIO DA ORTORRETIFICAÇÃO, FONTE: ADAPTADO DE ANDRADE (1998).....	93
FIGURA 4.2.10 - ASPECTO DO SOFTWARE ORTHO VISTA DURANTE O PROCESSO DE MOSAICAGEM. A IMAGEM DA ESQUERDA ILUSTRA A DIFERENÇA DE CORES DAS IMAGENS ORIGINAIS E A DA DIREITA MOSTRA O RESULTADO OBTIDO APÓS A EQUALIZAÇÃO.	95
FIGURA 4.2.11 - IMAGEM CONTÍNUA ORTOFOTO IBIAPABA	95
FIGURA 4.3.1 - 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).	102

FIGURA 4.3.2 - CONFIGURAÇÃO DO TERRENO NA REGIÃO DE INTERESSE AOS EMPREENDIMENTOS, ONDE SE NOTAM OS REFLEXOS DO TECTONISMO NAS ATUAIS FORMAS DE RELEVO, MESMO NA ÁREA COM COBERTURA SEDIMENTAR DA FORMAÇÃO SERRA GERAL (MAPAS GOOGLE).....	103
FIGURA 4.3.3 - ASSINALAM-SE EM AZUL ALGUNS LINEAMENTOS IMPORTANTES, QUE COINCIDEM PROVAVELMENTE COM EXTENSOS PLANOS DE FALHAMENTO. AS SUCESSIVAS ETAPAS DE TECTONISMO REGIONAL ACARRETARAM DESLOCAMENTOS RELATIVOS ENTRE BLOCOS, TANTO VERTICAIS, QUANTO HORIZONTAIS	104
FIGURA 4.3.4 - MAPA DA DISTRIBUIÇÃO DE EVENTOS SÍSMICOS NO NORDESTE DO BRASIL (FONTE: OLIVEIRA, P.H.S. - 2010). O CÍRCULO VERMELHO ASSINALA A ÁREA DE LOCALIZAÇÃO DOS EMPREENDIMENTOS.	115
FIGURA 4.3.5 - SEÇÃO SÍSMICA A JUSANTE DO EIXO DA BARRAGEM. ENTRE AS ESTACAS 5 E 8(CORRESPONDENDO A ESTACAS 12 A15 DO EIXO DA BARRAGEM) A CAMADA V1, COM VELOCIDADES ENTRE 0,5 E 1,0 KM/S, ALCANÇA RELEVANTE ESPESSURA, DE ATÉ 20 METROS EM ALGUNS TRECHOS.....	122
FIGURA 4.3.6 - INDICAÇÃO DAS PASSAGENS DE ARENITO INCOERENTE (C5) A POUCO COERENTE (C4) NAS SONDAJENS REALIZADAS AO LONGO DO EIXO DE BARRAMENTO. SEÇÃO VISTA DE JUSANTE PARA MONTANTE.	132
FIGURA 4.3.7 - LOCALIZAÇÃO DAS JAZIDAS EM ESTUDO PARA UTILIZAÇÃO NO MACIÇO DA BARRAGEM LONTRAS.....	140
FIGURA 4.3.8 - POSSÍVEL ÁREA-FONTE DE ROCHA PARA ENROCAMENTO	163
FIGURA 5.1 - OMBREIRA ESQUERDA DO EIXO LONTRAS, ONDE FOI OBSERVADO INDÍCIOS DE ANOMALIAS GEOLÓGICAS QUE PODERIAM CONDICIONAR O PROJETO DA BARRAGEM.	172
FIGURA 5.2 - LOCALIZAÇÃO DO EIXO LONTRAS B EM RELAÇÃO AO EIXO LONTRAS.....	173
FIGURA 5.3 - BARRAGEM LONTRAS – SEÇÃO TIPO	175
FIGURA 5.4 - NÍVEL DE ÁGUA NO INTERIOR DOS FUROS DE SONDAJEM.....	183
FIGURA 6.1 - LOCALIZAÇÃO DO CANTEIRO DE OBRAS E CENTRAL DE CONCRETO.....	207
FIGURA 7.1 - CRONOGRAMA FÍSICO	211

ÍNDICE DE QUADROS

Páginas

QUADRO 4.1.1 - CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INHUÇU NOS EIXOS BARRÁVEIS	30
QUADRO 4.1.2 - CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS SOBRAL E CRATEÚS	33
QUADRO 4.1.3 - TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS E MÉDIAS (°C) NA ÁREA EM ESTUDO	34
QUADRO 4.1.4 - UMIDADE RELATIVA NA ÁREA EM ESTUDO (EM %).....	35
QUADRO 4.1.5 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO MENSAL MÉDIA NA ÁREA EM ESTUDO ESTIMADA POR HARGREAVES E PENMAN-MONTHEITH (MM)	36
QUADRO 4.1.6 - INSOLAÇÃO MENSAL MÉDIA NA ÁREA EM ESTUDO (HS).....	37
QUADRO 4.1.7 - VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS NA ÁREA EM ESTUDO (M/S).....	38
QUADRO 4.1.8 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL SOBRE A BACIA DAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS.....	41
QUADRO 4.1.9 - CURVA COTA (M) X VOLUME (HM³) DA BARRAGEM LONTRAS	44
QUADRO 4.1.10 - CURVA COTA (M) X VOLUME (HM³) DA BARRAGEM INHUÇU.....	45
QUADRO 4.1.11 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS (MM) EM GUARACIABA DO NORTE, IBIAPINA, UBAJARA E CROATÁ COM DURAÇÕES DE 1 DIA PARA PERÍODOS DE RETORNO DE 1.000 E 10.000 ANOS, SEGUINDO A DISTRIBUIÇÃO PEARSON TIPO III	50
QUADRO 4.1.12 - ESTATÍSTICAS BÁSICAS DA SÉRIE DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS COM DURAÇÃO DE 1 DIA PARA OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS GUARACIABA DO NORTE E CROATÁ	51
QUADRO 4.1.13 - PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA Tr = 1.000 E 10.000 ANOS COM DURAÇÃO DE 24 HORAS (EM MILÍMETROS) NOS POSTOS CROATÁ E GUARACIABA DO NORTE.....	51
QUADRO 4.1.14 - 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.....	52
QUADRO 4.1.15 - 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).....	52
QUADRO 4.1.16 - 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)	52
QUADRO 4.1.17 - 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).....	53
QUADRO 4.1.18 - DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DA CHUVA SOBRE AS BACIAS DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, A CADA INTERVALO DE 1 HORA.....	57
QUADRO 4.1.19 - CARACTERÍSTICAS DO POSTO FLUVIOMÉTRICO CROATÁ	58

QUADRO 4.1.20 - CARACTERÍSTICAS DAS SÉRIES AFLUENTES AO POSTO FLUVIOMÉTRICO CROATÁ E AS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU	59
QUADRO 4.1.21 - VAZÕES MÉDIAS MENS AIS AFLUENTES ÀS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS (HM³)	59
QUADRO 4.1.22 - VAZÕES MÉDIAS AFLUENTES ANUAIS ÀS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS (HM³) COM BASE EM ESTUDOS ANTERIORES	61
QUADRO 4.1.23 - CAPACIDADES ADOTADAS NOS CENÁRIOS A, B E C (EM HM³).....	62
QUADRO 4.1.24 - VAZÕES REGULARIZADAS PELAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU E PELO SISTEMA NOS CENÁRIOS A, B E C (EM HM³).....	63
QUADRO 4.1.25 - NÍVEL DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (EM HM³) E GARANTIA ASSOCIADA A RETIRADA DE 3,0M³/s.....	66
QUADRO 4.1.26 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS PRECIPITAÇÕES INCREMENTAIS AO LONGO DE 18 HORAS (EM MM) CONSIDERANDO O INTERVALO DE DURAÇÃO DE 1 HORA – LONTRAS	67
QUADRO 4.1.27 - VAZÕES DE PICO DOS HIDROGRAMAS AFLUENTES E EFLUENTES PARA Tr = 1.000 E 10.000 ANOS, LÂMINA CONSIDERANDO A LARGURA DO SANGRADOURO DE 80, 100 E 120M.	70
QUADRO 4.2.1: RESUMO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS – SIRGAS2000 E ALTITUDES ORTOMÉTRICAS	80
QUADRO 4.2.2: QUADRO RESUMO DOS PONTOS DE APOIO SUPLEMENTAR.....	82
QUADRO 4.2.3: QUADRO RESUMO DO CÁLCULO DA ALTITUDE ORTOMÉTRICA (N) DO APOIO SUPLEMENTAR.....	86
QUADRO 4.2.4 - RELAÇÃO DE MARCOS NO EIXO DA BARRAGEM	97
QUADRO 4.2.5: ESTUDO DAS JAZIDAS	98
QUADRO 4.2.6: ESTUDO DO AREAL.....	99
QUADRO 4.2.7 - LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DE PONTO NA PEDREIRA 01	100
QUADRO 4.2.8 – LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO DE PONTO NA PEDREIRA 02	101
QUADRO 4.3.1 - PRINCIPAIS SISMOS DE MAGNITUDE ≥ 3,0 OCORRIDOS NO NORDESTE DO CEARÁ	114
QUADRO 4.3.2 – RELAÇÃO DE SONDA GENS EXECUTADAS PELA STS	116
QUADRO 4.3.3 – RELAÇÃO DE SONDA GENS EXECUTADAS PELA TECNORD	117
QUADRO 4.3.4 – SEÇÕES GEOELÉTRICAS E SÍSMICAS EXECUTADAS	119
QUADRO 4.3.5 – CLASSIFICAÇÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES QUANTO A SUA COERÊNCIA.....	123
QUADRO 4.3.6 – CLASSIFICAÇÃO DAS ROCHAS QUANTO À RESISTÊNCIA	124
QUADRO 4.3.7 - NÍVEIS DE BAIXA COERÊNCIA E/OU BAIXA RECUPERAÇÃO NAS SONDA GENS.....	129
QUADRO 4.3.8 – RESULTADOS DOS ENSAIOS DE PERMEABILIDADE VERSUS PROFUNDIDADE.....	134
QUADRO 4.3.9 - VOLUME DE MATERIAIS DAS JAZIDAS	141
QUADRO 4.3.10 - PERMEABILIDADE DE CARGA VARIÁVEL – JAZIDA 02.....	158
QUADRO 4.3.11 - PERMEABILIDADE DE CARGA VARIÁVEL – JAZIDA 03A.....	158
QUADRO 4.3.12 - PERMEABILIDADE DE CARGA VARIÁVEL – JAZIDA 04.....	158
QUADRO 4.3.13 - PERMEABILIDADE DE CARGA VARIÁVEL – JAZIDA 04A.....	158
QUADRO 4.3.14 - PERMEABILIDADE DE CARGA VARIÁVEL – JAZIDA 05.....	159
QUADRO 4.3.15 - PERMEABILIDADE DE CARGA VARIÁVEL – JAZIDA 09.....	159

QUADRO 4.3.16 - PERMEABILIDADE DE CARGA VARIÁVEL – JAZIDA 08.....	159
QUADRO 4.3.17 –CISALHAMENTO DIRETO – JAZIDA 01	159
QUADRO 4.3.18 –CISALHAMENTO DIRETO – JAZIDA 02	160
QUADRO 4.3.19 –CISALHAMENTO DIRETO – JAZIDA 03	160
QUADRO 4.3.20 –CISALHAMENTO DIRETO – JAZIDA 03A	160
QUADRO 4.3.21 –CISALHAMENTO DIRETO – JAZIDA 08	160
QUADRO 4.3.22 –ENSAIO TRIAXIAL – JAZIDA 08	161
QUADRO 4.3.23 - VALORES MÉDIOS DOS ENSAIOS DO AREAL JATOBÁ	161
QUADRO 5.1 - FAIXA GRANULOMÉTRICA DO SOLO DO NÚCLEO.....	190
QUADRO 5.2 - FAIXA GRANULOMÉTRICA DO ENROCAMENTO.....	191
QUADRO 5.3 - FAIXA GRANULOMÉTRICA DO FILTRO VERTICAL	191
QUADRO 5.4 - FAIXA GRANULOMÉTRICA DE TRANSIÇÃO FINA	192
QUADRO 5.5 - FAIXA GRANULOMÉTRICA DE TRANSIÇÃO GROSSA	192

ÍNDICE DE FOTOS

Páginas

FOTO 4.3.1 – TRILHA ABERTA AO LONGO DO EIXO DE BARRAMENTO, NA OMBREIRA ESQUERDA.	106
FOTO 4.3.2 – GRANDE QUANTIDADE DE BLOCOS SE ACUMULA, DE MANEIRA DESORDENADA, LOGO ABAIXO DE JUMA QUEBRA NO RELEVO, MOTIVADA PELA PRESENÇA DE UMA CAMADA DE ARENITO MAIS COERENTE (COORD. UTM 9.499.050 N 283.640 E, 24M).	107
FOTO 4.3.3 – PLACAS DE ARENITO COERENTE, LEVANTADAS E BASCULADAS POR PROCESSO GENERALIZADO DE RASTEJO.	108
FOTO 4.3.4 – VISTA DO RIO INHUÇU A PARTIR DA MARGEM ESQUERDA. O LEITO DO RIO EXIBE POÇAS, ALIMENTADAS POR “OLHOS D’ÁGUA” QUE AFLORAM NO FUNDO DO LEITO. DE OUTRA FORMA, O RIO ESTARIA SECO, PORQUE NÃO HÁ ALIMENTAÇÃO POR MONTANTE (COORD. UTM 9.499.320 N 283.200 E, 24M).	109
FOTO 4.3.5 – ESTE BLOCO DE ARENITO EXIBE ESTRATIFICAÇÃO CRUZADA, COM MERGULHO ACENTUADO, CERCA DE 300 PARA MONTANTE. O ACAMAMENTO GERAL, ENTRETANTO, É SUB-HORIZONTAL, COMO PODE SER VISTO NA FOTO SEGUINTE. A SETA É INDICATIVA DO FLUXO.	109
FOTO 4.3.6 – MEDIÇÃO DE NÍVEL D’ÁGUA NO FURO DA SMB-09, NA OMBREIRA DIREITA, ESTACA 12+00, ONDE FOI ENCONTRADA A OCORRÊNCIA DE ROCHA ÍGNEA EXTRUSIVA, PROVAVELMENTE DIABÁSIO.	110
FOTO 4.3.7 – AO LONGO DA OMBREIRA DIREITA, SAINDO DA ÁREA MAIS APLAINADA, QUE CORRESPONDE A UM TERRAÇO DE ORIGEM FLUVIAL, DEPARA-SE COM ESTE TRECHO, RECOBERTO POR SEIXOS E BLOCOS DE ARENITO.	112
FOTO 4.3.8 – ARENITO MEDIANAMENTE COERENTE (C2). O RISCO DA PONTA DO MARTELO PRODUZ UM SULCO LEVE.	124
FOTO 4.3.9 – ARENITO POUCO COERENTE (C3). O RISCO DA PONTA DO MARTELO PRODUZ UM SULCO PROFUNDO.	124
FOTO 4.3.10 – TRECHO DA SONDAÇÃO SMB-04, COM FOCO DE 10,79 A 11,00 M, ONDE APARENTA EXISTIR UMA JUNTA DE ALÍVIO, CARACTERIZADA PELO ASPECTO DISCOIDE DOS FRAGMENTOS ROCHOSOS.	126
FOTO 4.3.11 – A SMB-04 EXIBE, ENTRE 12,40 E 25,60 M (FINAL DO FURO), UM FRATURAMENTO MUITO INTENSO, QUE PODE SER ATRIBUÍDO A TECTONISMO, VISTO QUE A SONDAÇÃO SE LOCALIZA NO FUNDO DO VALE, EM POSSÍVEL ÁREA DE INTERFERÊNCIA DE UM IMPORTANTE FALHAMENTO GEOLÓGICO.	127
FOTO 4.3.12 – OS TRECHOS DE MATERIAL INCOERENTE (C5) A POUCO COERENTE (C4) OCORREM EM PRATICAMENTE TODAS AS SONDAÇÕES, COM EXTENSÃO QUE VARIA ENTRE POUCAS DEZENAS DE CENTÍMETROS A DIVERSOS METROS. A TÍTULO DE EXEMPLO, VÊ-SE NA FOTO UM TRAMO DA SMB-01 (CAIXAS 5 E 6), ONDE PODEM SER OBSERVADOS DOIS TRECHOS C4/C5, ASSINALADOS.	128

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

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 mostre-se 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 de Irrigação.
- Etapa B4 - Manuais de Operação e Manutenção do Sistema
- Etapa B5 - Avaliação Financeira e Econômica Final do Sistema – Barragens e Perímetro de Irrigação.

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;

- 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 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 de Concepção Geral do Volume 2- Projeto Executivo** e aborda os seguintes capítulos:

- Localização e Acessos
- Ficha Técnica
- Análise dos Estudos Básicos
 - Generalidades;
 - Estudos Hidrológicos;
 - Estudos Cartográficos;
 - Geologia;
 - Investigações no barramento;
 - Investigações no Sangradouro;
 - Levantamento Geofísico;
 - Análise das Campanhas de Sondagem;
 - Aspectos Geológicos e Geotécnicos;
 - Estudos dos Materiais Construtivos.
- Projeto Executivo da Barragem
 - Generalidades;
 - Escolha do Tipo da Barragem;
 - Escolha do tipo de Seção;
 - Fundação;
 - Maciço da Barragem;
 - Instrumentação;
 - Sangradouro;
 - Tomada D'água;
 - Descarga de Fundo;
 - Etapas Construtivas.
 - Canteiro de Obras
 - Cronograma Físico
 - Equipamento Mínimo

2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A Barragem Lontras é parte integrante do Eixo de Integração da Ibiapaba, localizando-se na bacia do rio Inhuçu. 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 **Figuras 2.1 e 2.2**.

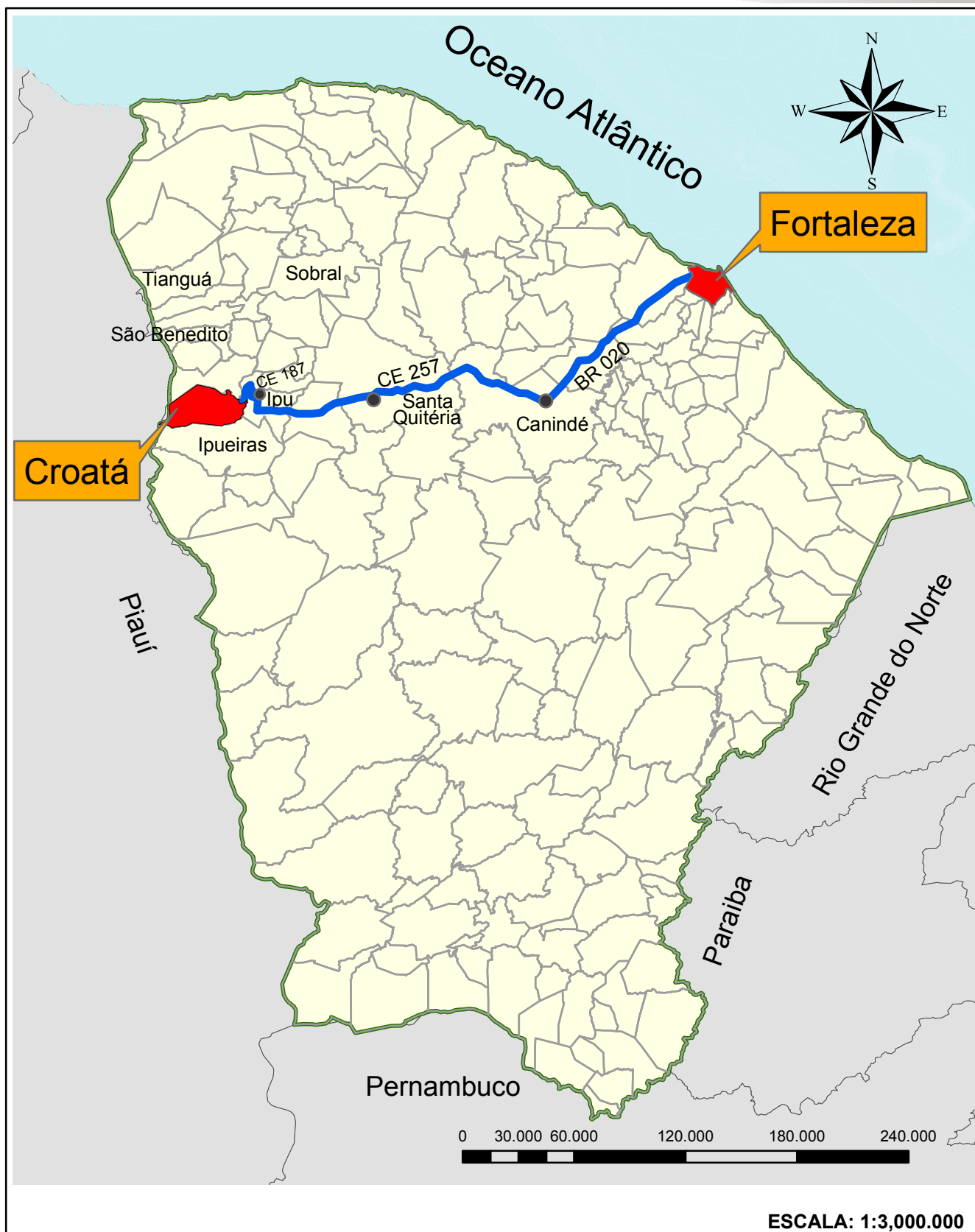


Figura 2.1 - Mapa de localização (contexto estadual)

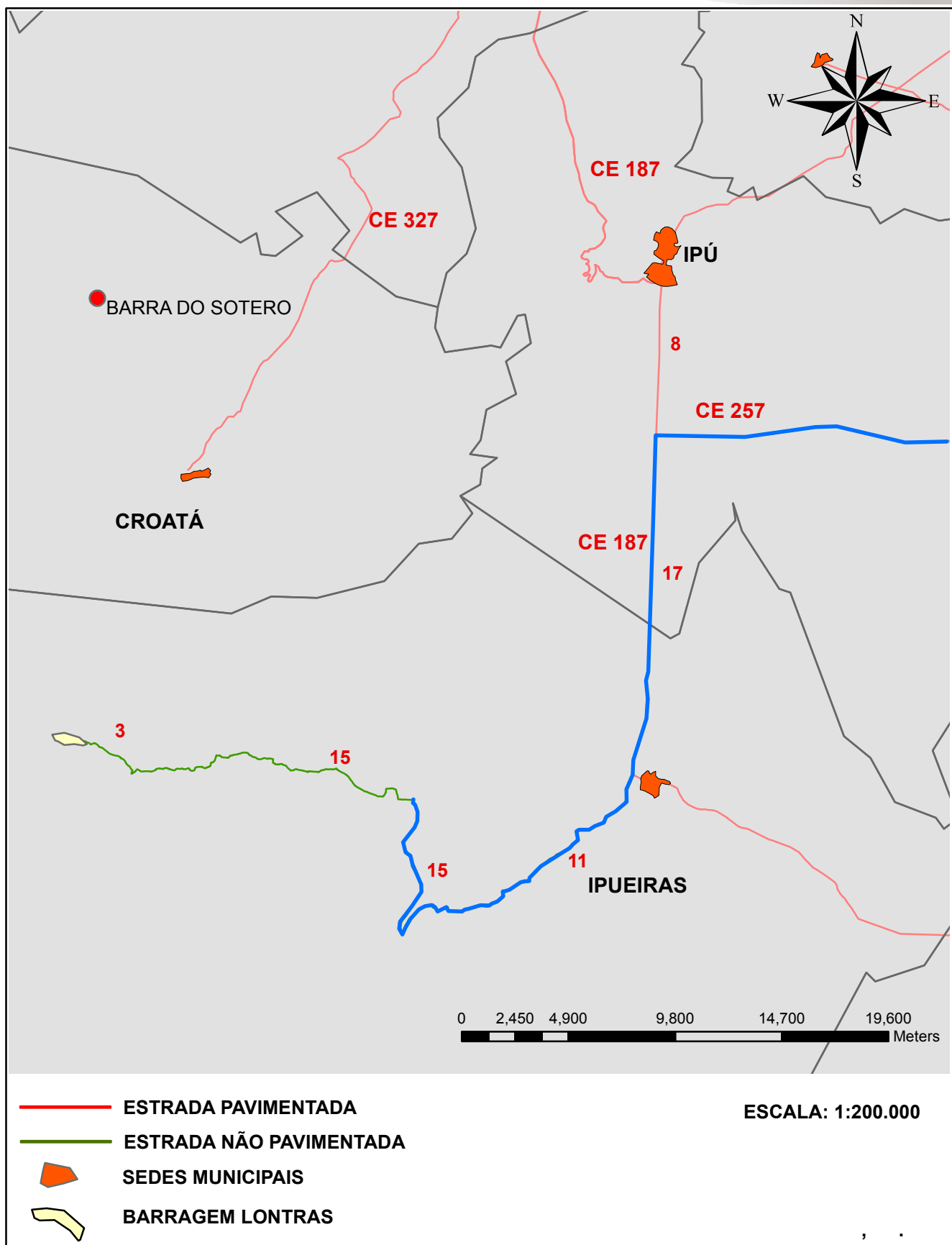


Figura 2.2 - Mapa de localização (contexto municipal)

3. FICHA TÉCNICA

3. FICHA TÉCNICA

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

A curva Cota x Área x Volume e a Tabulação dos seus dados são apresentados a seguir:

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM LONTRAS	
IDENTIFICAÇÃO	
Denominação:	Barragem Lontras
Estado:	Ceará
Município:	Croatá
Coordenadas UTM:	E 283.197/ N 9.499.358
Sistema:	Rio Poti
Rio Barrado:	Inhuçu
Proprietário:	Estado do Ceará/SRH
Autor do Projeto:	Consórcio Engesoft/IBI
Data do Projeto:	Dezembro/2011
BACIA HIDROGRÁFICA	
Área:	1.414 km ²
Precipitação Média Anual:	729 mm
Evaporação Média Anual:	1775 mm
CARACTERÍSTICA DO RESERVATÓRIO	
Área da Bacia Hidráulica (cota 535,00 m):	2.088,94 ha
Volume Acumulado (Cota 535,00 m):	347,13 hm ³
Volume Afluente Médio Anual:	173,5 hm ³
Volume Morto do Reservatório (Cota 508,00 m):	40,61 hm ³
Volume de Alerta (Cota 510,00 m):	50,74 hm ³
Vazão Regularizada (90%):	3,2 m ³ /s
Vazão Máxima Afluente de Projeto (TR=1.000 anos)	2.097,8 m ³ /s
Vazão Max. De Projeto Amortecida (TR=1.000 anos):	827,1 m ³ /s
Vazão Máxima Afluente de Verificação (TR=10.000 anos)	2.864,9 m ³ /s
Vazão Max.Verificação Amortecida (TR=10.000anos):	1.208,3 m ³ /s
Nível D'Água Max. Normal:	535,00 m

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM LONTRAS

Nível D'Água Max. Maximorum (TR=1.000 anos):	537,80 m
Nível D'Água Max. Maximorum (TR=10.000 anos):	538,60 m
BARRAGEM PRINCIPAL	
Tipo:	Mista de Terra e Enrocamento com núcleo argiloso
Altura Máxima:	57 m
Largura do Coroamento:	9,0 m
Extensão pelo Coroamento:	1.150 m
Cota do Coroamento:	540,00 m
Volume de Escavação (Fundação):	997.739,30 m ³
Volume de Solo::	3.646.959,38 m ³
Volume do Enrocamento:	1.631.168,07 m ³
Volume de Brita:	104.518,20 m ³
Volume de Areia :	202087,81 m ³
Volume de Transições Grossas:	170.642,06 m ³
Talude de Montante:	1,0 (V) : 2,5 a 3,5 (H)
Talude de Jusante:	1,0 (V) : 2,0 (H)
SANGRADOURO	
Tipo:	Canal revestido de concreto, com perfil Creager, rápidos e duas bacias de dissipação
Largura:	80,00 m
Cota de Sangria:	535,00m
Extensão Total do Canal de Restituição:	750 m
Vazão Máxima Prevista (TR=1.000 anos)	827,1 m ³ /s
Vazão Máxima Prevista (TR=10.000 anos):	1.208,3 m ³ /s
Lâmina Máxima Prevista (TR=1.000 anos):	2,80 m
Lâmina Máxima Prevista (TR=10.000 anos):	3,60 m
Borda Livre:	2,10 m
Volume Total de Escavação	830.286 m ³
TOMADA D'ÁGUA	
Tipo:	Tubo de Aço Envolto em Concreto

FICHA TÉCNICA DA BARRAGEM LONTRAS

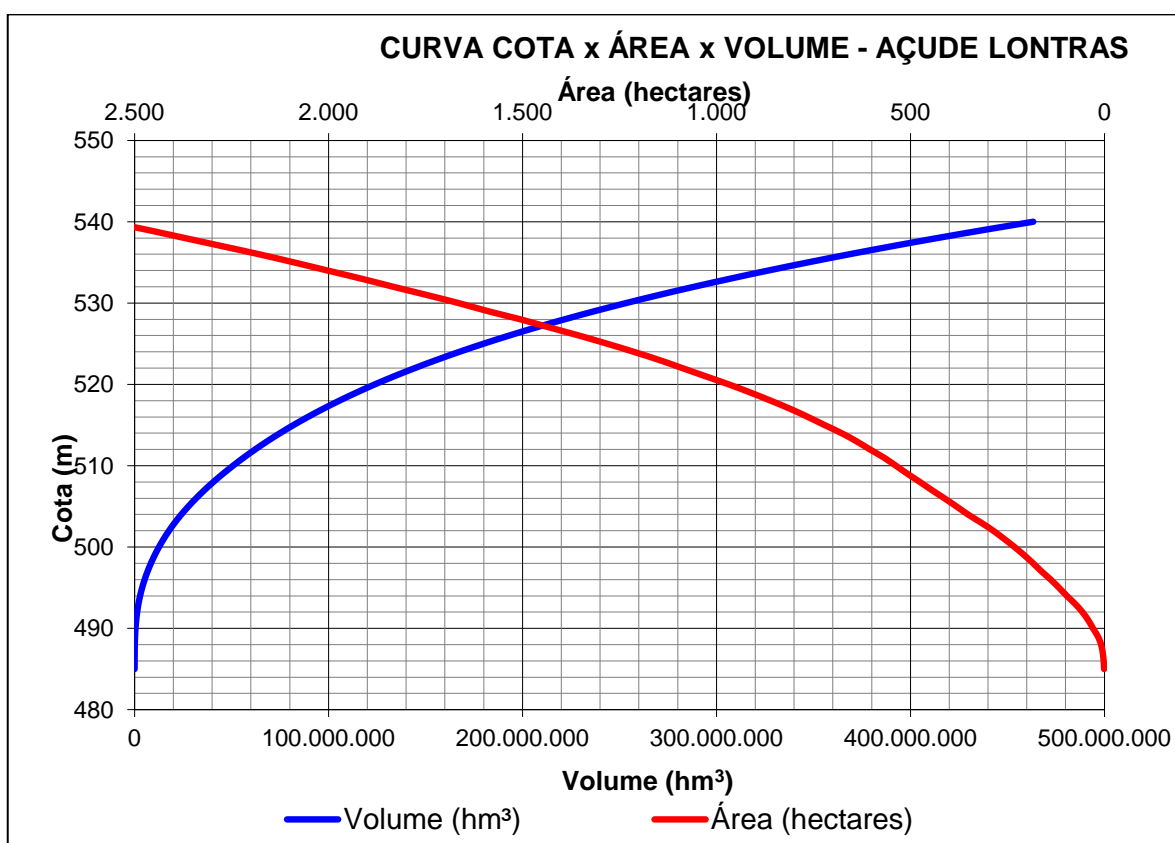
Localização:	Ombr. Esquerda / Est. 53+00
Número de Conduto:	1 (um)
Diâmetro:	800 mm
Comprimento do Conduto:	162,0 m
Cota do eixo à Montante:	508,00 m
Cota do eixo à Jusante:	508,00 m

DESCARGA DE FUNDO

Tipo:	Tubo de Aço em Galeria
Localização:	Ombr. Esquerda / Est. 34+00
Número de Conduto:	2 (dois)
Diâmetro:	1.800 mm
Comprimento do Conduto:	300 m
Cota do eixo à Montante:	485,40 m
Cota do eixo à Jusante:	485,40 m

Cota X área X Volume- Barragem Lontras			
Cota (m)	Área (km2)	Área (m2)	Volume (m3)
485	0.01	7.507.07	3.754
486	0.02	19.033.30	17.024
487	0.04	43.459.00	48.270
488	0.08	84.079.26	112.039
489	0.17	166.756.60	237.457
490	0.29	293.589.53	467.630
491	0.42	415.094.57	821.972
492	0.57	565.886.21	1.312.462
493	0.75	751.012.22	1.970.912
494	0.97	969.016.50	2.830.926
495	1.17	1.170.164.80	3.900.517
496	1.38	1.384.073.99	5.177.636
497	1.62	1.618.200.40	6.678.773
498	1.84	1.836.561.29	8.406.154
499	2.07	2.067.000.09	10.357.935
500	2.32	2.315.854.72	12.549.362
501	2.58	2.582.002.84	14.998.291
502	2.86	2.862.247.10	17.720.416
503	3.18	3.176.634.10	20.739.857
504	3.51	3.514.064.26	24.085.206
505	3.81	3.814.477.91	27.749.477
506	4.13	4.125.594.80	31.719.513
507	4.45	4.447.087.28	36.005.854
508	4.76	4.755.223.11	40.607.009
509	5.07	5.073.348.61	45.521.295
510	5.38	5.375.331.27	50.745.635
511	5.68	5.684.768.82	56.275.685
512	6.04	6.042.059.37	62.139.099
513	6.39	6.388.673.09	68.354.466
514	6.77	6.772.064.16	74.934.834
515	7.21	7.212.410.08	81.927.071
516	7.64	7.644.246.66	89.355.400
517	8.10	8.101.175.05	97.228.111
518	8.60	8.602.332.81	105.579.864
519	9.13	9.127.013.13	114.444.537
520	9.68	9.682.715.73	123.849.402
521	10.28	10.281.628.16	133.831.574
522	10.88	10.877.341.32	144.411.059
523	11.48	11.475.139.60	155.587.299
524	12.13	12.126.602.62	167.388.170
525	12.82	12.816.736.62	179.859.840
526	13.54	13.539.564.48	193.037.990
527	14.31	14.305.489.27	206.960.517
528	15.05	15.052.685.02	221.639.604
529	15.89	15.887.141.53	237.109.518

Cota X área X Volume- Barragem Lontras			
Cota (m)	Área (km2)	Área (m2)	Volume (m3)
530	16.65	16.648.564.54	253.377.371
531	17.48	17.475.263.09	270.439.284
532	18.33	18.325.923.12	288.339.878
533	19.15	19.152.991.04	307.079.335
534	20.03	20.025.422.13	326.668.541
535	20.89	20.889.436.88	347.125.971
536	21.79	21.789.203.27	368.465.291
537	22.75	22.745.077.20	390.732.431
538	23.71	23.709.697.04	413.959.818
539	24.67	24.671.926.38	438.150.630
540	25.68	25.679.819.80	463.326.503



4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS

4. ANÁLISE DOS ESTUDOS BÁSICOS

Esse capítulo tem a finalidade de expor de forma sintética os resultados de todos os estudos básicos submetidos a análise da projetista e que serviram de orientação ao desenvolvimento do Projeto. Com base nesses estudos o Consórcio Engesoft/IBI buscou conceber soluções capazes de atender aos anseios da Secretaria dos Recursos Hídricos no que tange aos objetivos esperados, ou sejam, uma obra otimizada do ponto de vista econômico e de engenharia e que possa cumprir o papel social esperado.

4.1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

O presente item apresenta o **Estudo Hidrológico das Barragens Lontras e Inhuçu** e é parte do Projeto Executivo do Eixo de Integração da Ibiapaba/CE, representado pelas barragens Lontras e Perímetro de Irrigação.

O Estudo Hidrológico tem duplo objetivo:

- Estimar as cheias afluentes e efluentes as Barragens Inhuçu e Lontras, com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, caracterizadas por suas grandes magnitudes, sendo de especial importância a sua determinação para a segurança das obras.
- Estimar a capacidade de regularização das Barragens Inhuçu e Lontras para uma garantia anual de 90%

Foram simulados três Cenários de topologia na bacia do rio Inhuçu (ou Macambira), onde as barragens se localizam:

- **Cenário A** – Reservatório Inhuçu isolado;
- **Cenário B** – Reservatório Lontras isolado;
- **Cenário C** – Reservatórios Lontras e Inhuçu em série (Reservatório Inhuçu a montante de Lontras)

O rio Inhuçu é afluente do rio Poti e, portanto, deve atender às exigências da Resolução Conjunta ANA/SRH-CE/SEMAR-PI N° 547/2006 (Marco Regulatório da bacia) *“que dispõe sobre a estratégia de gestão de recursos hídricos nas bacias dos rios Poti e Longá e procedimentos e condições para as outorgas preventivas e de direito de uso, considerando a regularização das intervenções e usos atuais, bem como as regras para as intervenções e usos futuros”*.

No que se refere especificamente às capacidades máximas de acumulação dos reservatórios projetados na bacia do rio Inhuçu, o Marco Regulatório estabelece no seu Art.14º que “A capacidade máxima de acumulação para os novos Açudes a serem construídos na bacia do rio Inhuçu, no Estado do Ceará, é de 420 hm³”.

No **Cenário A**, o Barragem Inhuçu (barramento único) será simulado com capacidade de acumulação igual a 100hm³ (a capacidade máxima neste eixo seria de 180hm³, quando a capacidade de regularização passa a decrescer).

Considerando-se o **Cenário B**, no qual Lontras é um barramento único, sua capacidade máxima será considerada 350 hm³, inferior à máxima permitida, em função de limitação imposta para que a área urbana da sede municipal de Croatá não seja inundada pela bacia hidráulica. E, finalmente no **Cenário C**, com os dois reservatórios em série, variar-se-á a capacidade do Inhuçu entre 40 e 100 hm³ e Lontras entre 350 (limite máximo em função de Croatá) e 320 hm³ (complemento para a capacidade máxima estipulada pela Resolução).

4.1.1. Metodologia Utilizada nos Estudos

4.1.1.1 Estimativa das Cheias Máximas

A cheia máxima foi estimada a partir de dados de precipitação, determinada a chuva de projeto ($T_r= 1.000$ e 10.000 anos), transformada, a posteriori, em escoamento superficial através da aplicação de modelo chuva-deflúvio. Utilizar-se-á o Método do Hidrograma Unitário, desenvolvido pelo *U.S. Soil Conservation Service*, cujas características se baseiam numa generalização das condições médias encontradas em numerosos casos para os quais se dispunha de dados fluviométricos.

Os programas utilizados no trabalho foram: EXVAL, o qual ajusta as séries de precipitações máximas a várias distribuições de probabilidades e calcula os seus valores para diversos períodos de retorno e o HEC-HMS desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers, o qual transforma os dados de precipitação em vazão.

4.1.1.2 Estimativa da Capacidade de Regularização do Reservatório

A capacidade de regularização das Barragens Lontras e Inhuçu foram determinadas através da operação simulada dos reservatórios – isolados e em série – dependendo do cenário adotado. O programa SIMRES, desenvolvido pelo Grupo de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, será utilizado nesta etapa.

4.1.2. Caracterização Física

O Rio Inhuçu, afluente do Rio Poti, fica localizado na Serra da Ibiapaba, na porção oeste do Estado do Ceará. Desde a sua nascente até do local do eixo barrável Inhuçu, 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 4.1.1**. A localização da área de estudo, em relação ao Estado do Ceará e bacias vizinhas, pode ser observada na **Figura 4.1.1**.

Quadro 4.1.1- 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

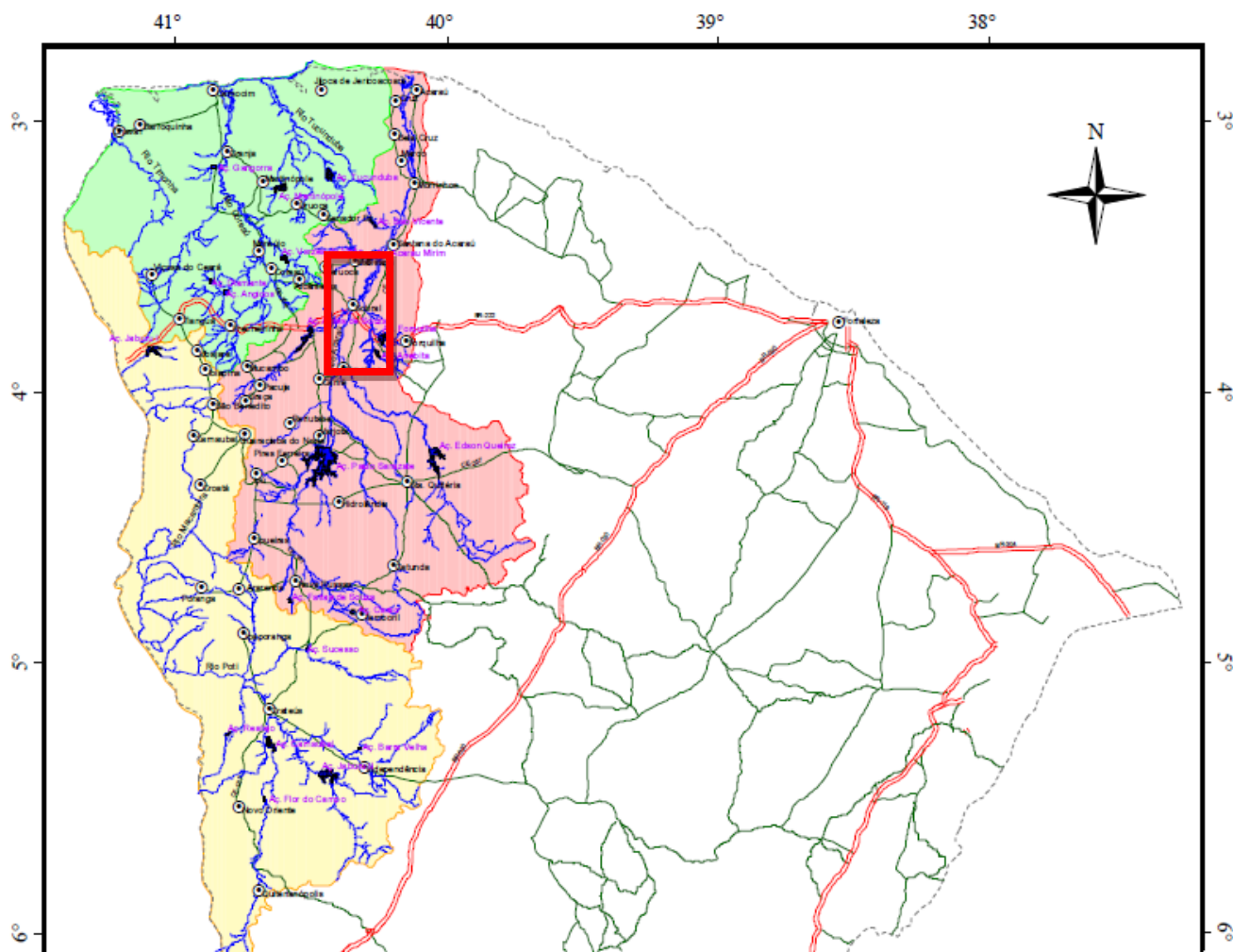


Figura 4.1.1 - Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará

A hidrografia da bacia das Barragens Inhuçu e Lontras (área livre) são apresentadas na **Figura 4.1.2.**

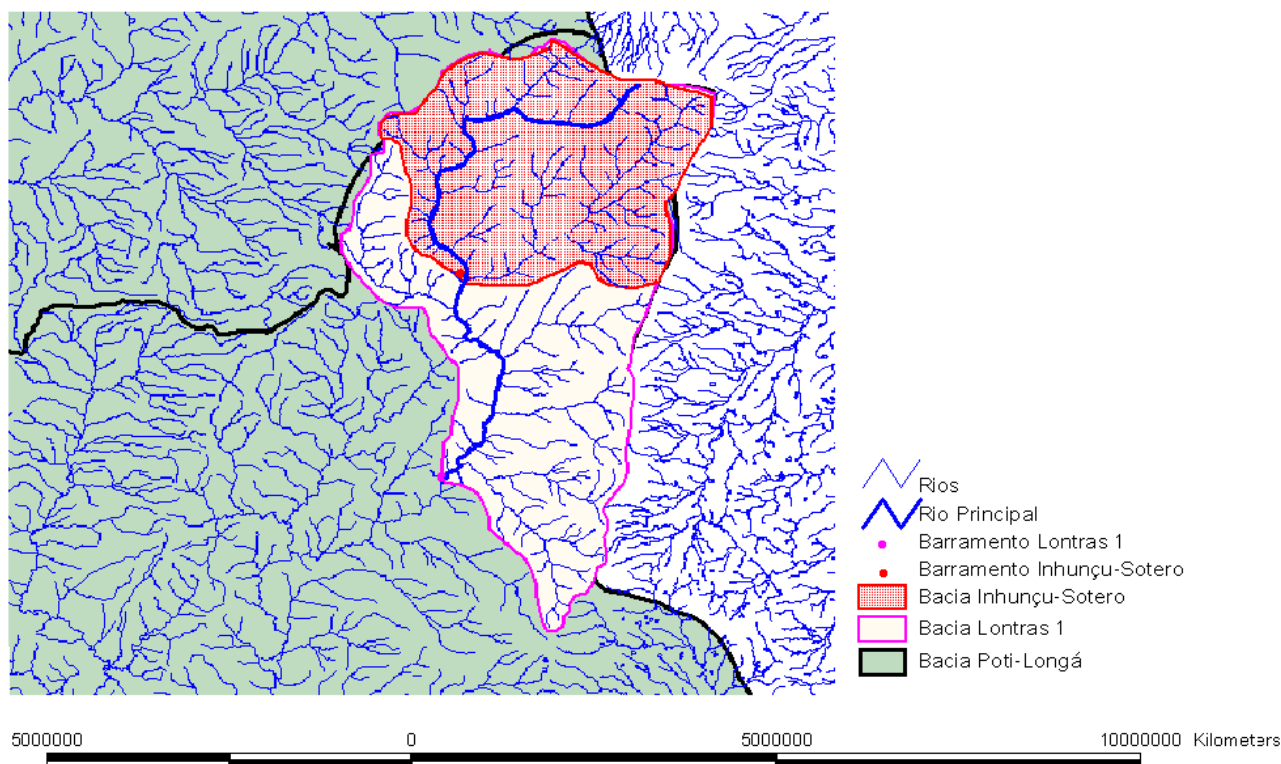


Figura 4.1.2 - Hidrografia da bacia das Barragens Inhuçu e Lontras

4.1.3. Caracterização Climatológica

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 4.1.3**). As características das estações climatológicas mencionadas encontram-se no **Quadro 4.1.2**.

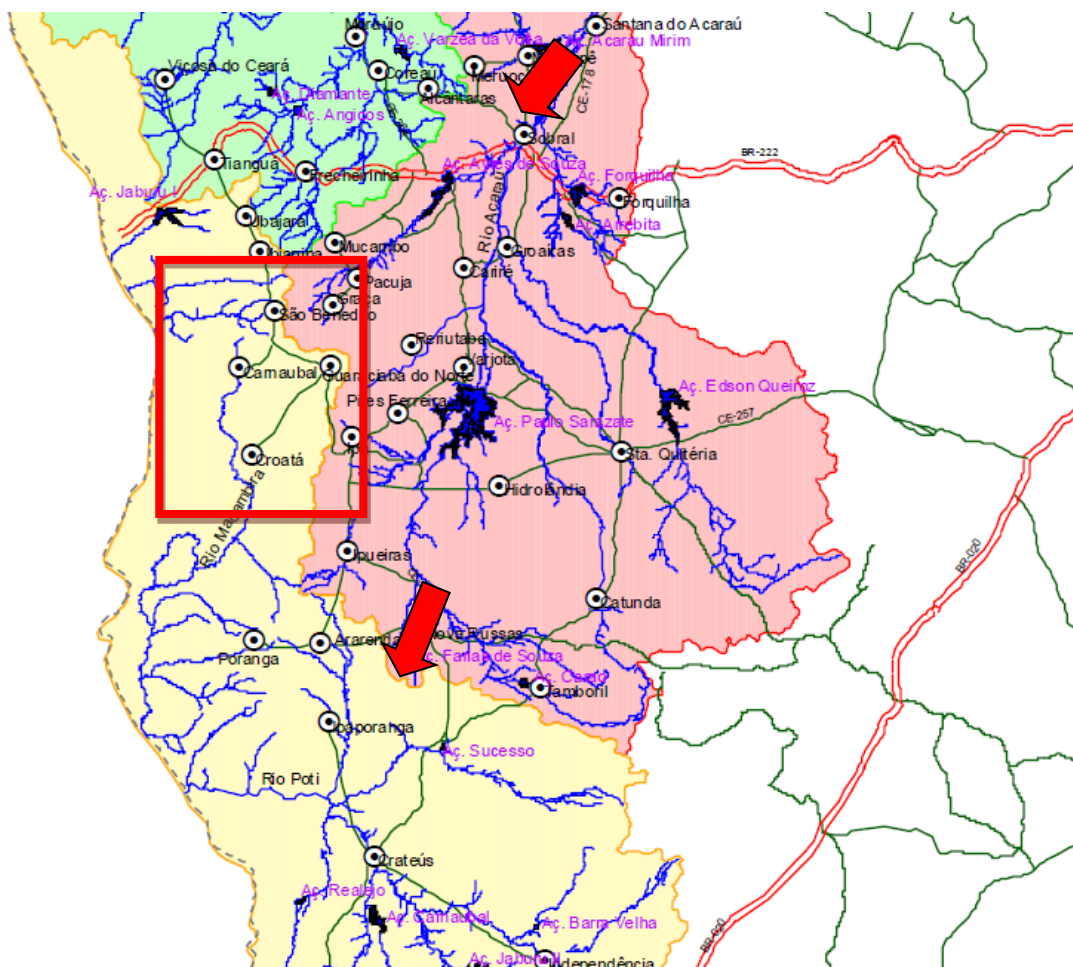


Figura 4.1.3 - Localização das estações climatológicas de Sobral e Crateús em relação à bacia hidrográfica do rio Inhuçu (retângulo em vermelho)

Quadro 4.1.2 - 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.

4.1.3.1. Temperatura

No **Quadro 4.1.3** e na **Figura 4.1.4** são apresentados os valores de temperaturas médias, máximas e mínimas na estação Sobral.

Quadro 4.1.3 - Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias (°C) na Área em Estudo

T (°C)	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Média
Máximas	33,8	32,3	31,4	31,1	31,2	31,6	33,0	34,8	35,8	35,9	35,6	35,5	33,5
Mínimas	23,6	22,6	22,5	22,6	21,9	21,5	21,2	21,4	22,4	22,8	22,9	23,3	22,4
Médias	27,5	26,7	26,1	26,0	26,0	26,0	25,9	26,8	27,5	27,8	28,1	28,1	26,9

Fonte: INMET (1990)

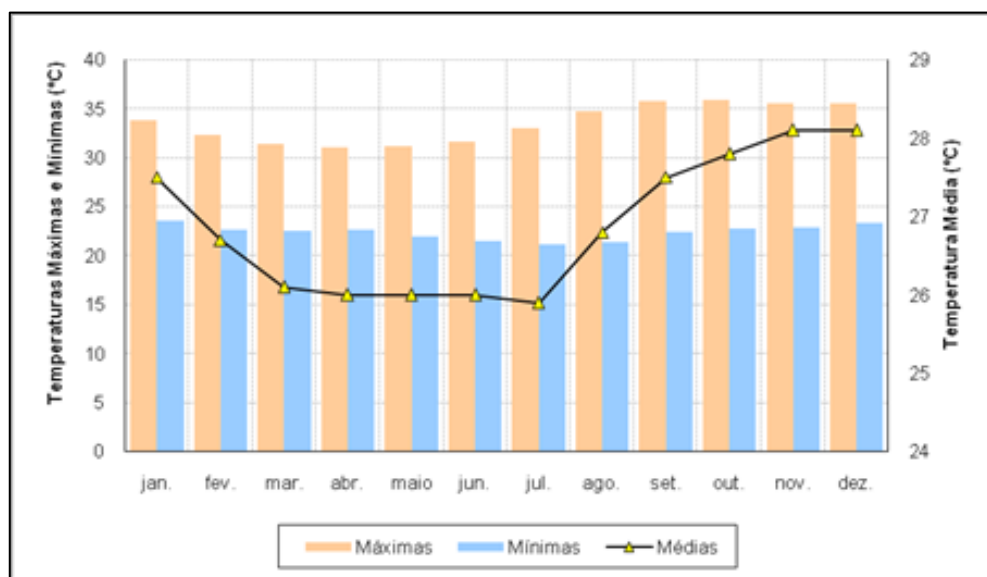


Figura 4.1.4 - Temperaturas Máximas, Médias e Mínimas na Área em Estudo (em °C). Fonte: INMET (1990)

4.1.3.2. Umidade Relativa

A umidade média anual na região se situa em torno de 70%. As variações mensais estão apresentadas no **Quadro 4.1.4** e na **Figura 4.1.5**.

Quadro 4.1.4 - Umidade Relativa na Área em Estudo (em %)

jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.
69,0	74,0	81,0	85,0	80,0	74,0	66,0	55,0	55,0	58,0	57,0	61,0

Fonte: INMET (1990)

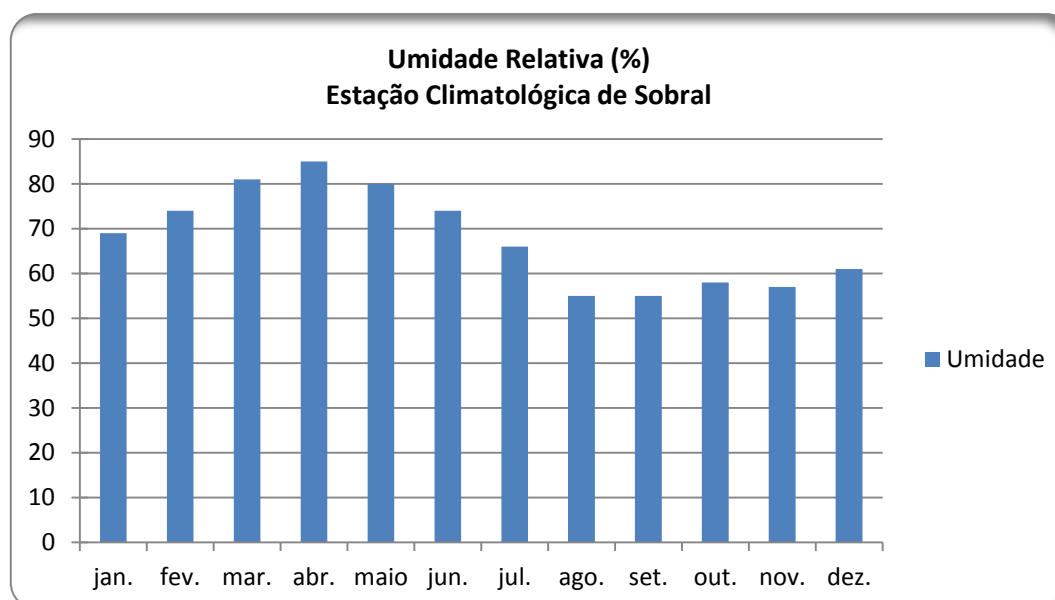


Figura 4.1.5 - Umidade relativa (%) na Área em Estudo

4.1.3.3. Evaporação

Adotou-se a estação climatológica Sobral como representativa da área em estudo, verifica-se que a evaporação média mensal na **Figura 4.1.6**, apresentada a seguir.

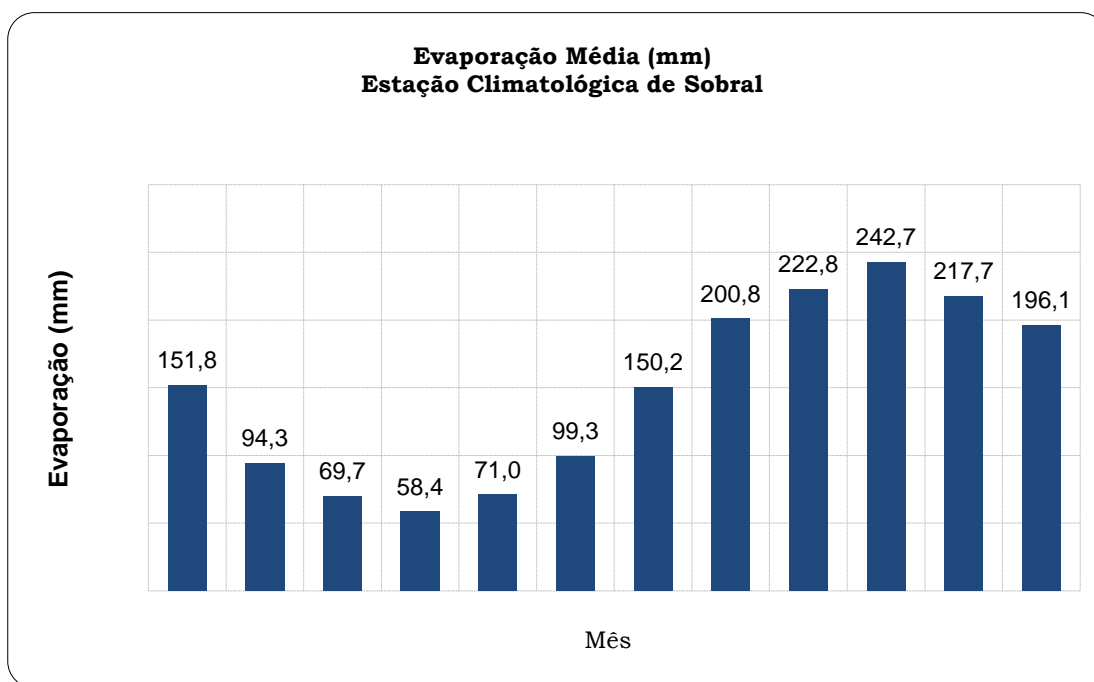


Figura 4.1.6 - Evaporação média mensal na Área em Estudo (Fonte: INMET (1990))

4.1.3.4 Evapotranspiração Potencial

Dentre os métodos disponíveis para a estimativa da evapotranspiração potencial (ETp) se destaca o de Hargreaves (1974), pela larga utilização em projetos de irrigação no Nordeste Brasileiro. Recentemente, entretanto, tem havido um consenso em torno da utilização de outra metodologia – a de Penman-Monteith – para a estimativa da Etp em todo o mundo.

A evapotranspiração anual média estimada por Hargreaves é de 1.895,5mm e por Penman-Montheith é de 1.790,7mm, distribuída ao longo dos meses segundo o **Quadro 4.1.5 e Figura 4.1.7.**

Quadro 4.1.5 - Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)

Método	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Hargreaves	156,9	142,5	128,7	133,2	146,6	144,3	163,1	177,6	179,7	186,6	175,8	160,6	1.895,6
Penman-Montheith	146,3	119,0	116,3	110,7	122,5	124,5	155,6	183,5	183,3	179,2	179,4	170,5	1.790,7

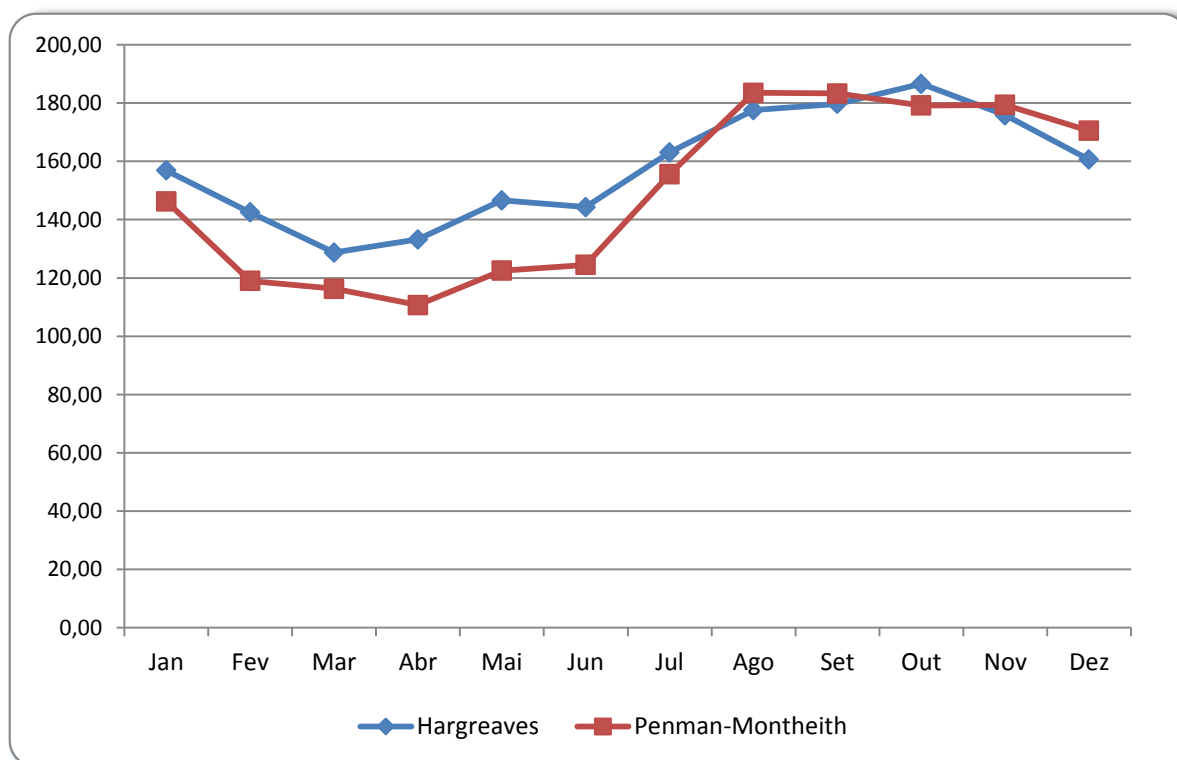


Figura 4.1.7 - Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)

.1.3.5. Insolação

O **Quadro 4.1.6** mostra o número médio de horas de exposição ao sol, e sua distribuição mensal, na estação meteorológica Sobral. Em escala anual, a insolação na região se situa em torno de 2.525,2 horas, sendo os meses de menor insolação àqueles correspondentes ao período chuvoso, devido à presença de nebulosidade.

Quadro 4.1.6 - Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sobral	188,1	159,5	155,0	151,7	189,3	205,4	234,7	268,2	251,4	258,9	241,1	221,9	2525,2

Fonte: INMET (1990)

4.1.3.6. Velocidade dos Ventos

A velocidade média anual dos ventos é de 2,2 m/s, distribuída ao longo dos meses conforme **Quadro 4.1.7**.

Quadro 4.1.7 – Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Sobral	2,34	2,07	1,78	1,54	1,44	1,62	1,88	2,31	2,86	2,88	2,90	2,74	2,20

Fonte: INMET (1990)

4.1.3.7. Regime de Chuvas

A **Figura 4.1.8** apresenta as isoietas da Bacia do Poti traçadas pelo Diagnóstico, dos Estudos Básicos e dos Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba (SRH/Consortio Montgomery Watson/Engesoft, 2000). Observa-se uma alta pluviometria na porção nordeste da bacia (marcada com retângulo vermelho), justificada pela influência da Serra da Ibiapaba, com índices que chegam a mais de 1.000mm. No entanto, uma região de maior aridez, com índice inferior a 800 mm, abrange parcela significativa da região em estudo e quase toda a bacia do rio Poti.

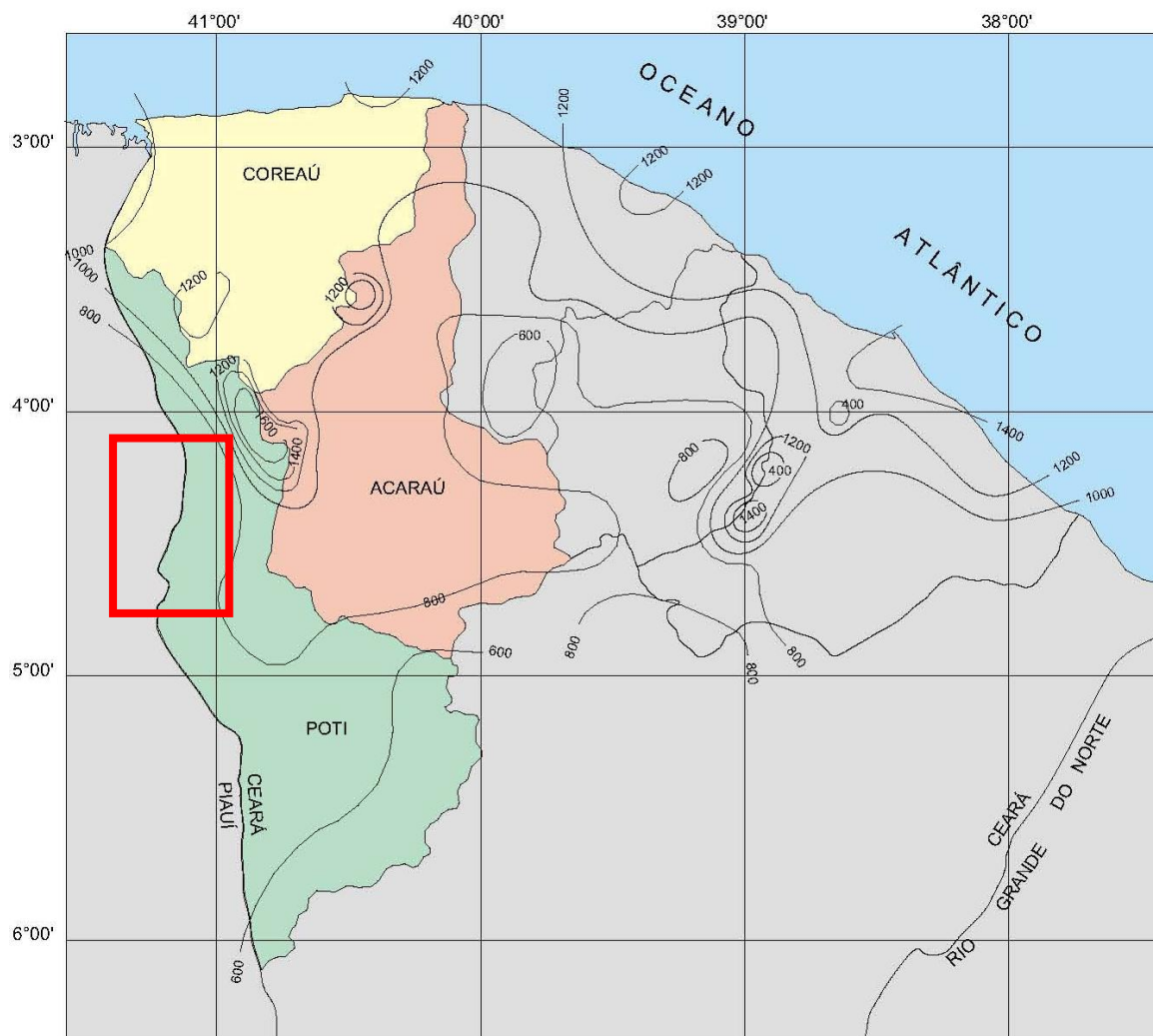


Figura 4.1.8 - Isoietas das bacias do Poti, Acaraú e Coreaú (retângulo em vermelho marca a área em estudo)

A consultar-se o banco de dados hidrológicos Hidroweb, da Agência Nacional de Águas, verificou-se que existem 22 postos pluviométricos nas proximidades e no interior da bacia estudada. A **Figura 4.1.9** apresenta o Polígono de Thiessen para a área estudada. Para se obter a série histórica de maior extensão (com um período em comum a todos os postos) optou-se por calcular o polígono de Thiessen apenas considerando três postos – Guaraciaba do Norte, Croatá e Carnaubal - todos no interior da área em estudo.



Figura 4.1.9 - Polígono de Thiessen da área em estudo, com as áreas de influência de cada posto.

A série histórica calculada para a área em estudo pelo Polígono de Thiessen encontra-se no **Quadro 4.1.8.**

Quadro 4.1.8 - Precipitação Média anual sobre a bacia das Barragens Inhuçu e Lontras

Ano	P (mm)	Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
1962	895,3	1982	867,0	2002	1339,0
1963	1253,3	1983	415,8	2003	1554,0
1964	1710,0	1984	1536,4	2004	1719,5
1965	1653,9	1985	2602,2	2005	1282,0
1966	753,4	1986	1961,4	2006	1135,5
1967	1630,7	1987	1155,8	2007	924,5
1968	1476,5	1988	1428,0	2008	1531,0
1969	1253,8	1989	1627,0	2009	1827,0
1970	682,4	1990	1000,4	2010	961,5
1971	1570,3	1991	1301,4		
1972	1098,0	1992	1008,0		
1973	1881,3	1993	484,0		
1974	1809,9	1994	1779,6		
1975	1605,4	1995	1462,2		
1976	972,9	1996	1421,6		
1977	1372,9	1997	1258,6		
1978	932,9	1998	714,3		
1979	1049,6	1999	1003,9		
1980	785,3	2000	1540,8		
1981	977,8	2001	853,1		

Observa-se nas **Figuras 4.1.10, 4.1.11 e 4.1.12**, que o regime de chuvas nos postos em questão e na bacia em estudo é o da região norte do Nordeste. Percebe-se, pela distribuição sazonal das chuvas, que o principal sistema atuante na bacia é a Zona de Convergência Intertropical responsável pelas chuvas de março a maio. Em caráter secundário, atuam os Sistemas Frontais, de dezembro a janeiro, e, em menor escala, as Ondas de Leste, responsáveis pelas chuvas de junho a agosto; os três sistemas agindo conjuntamente.

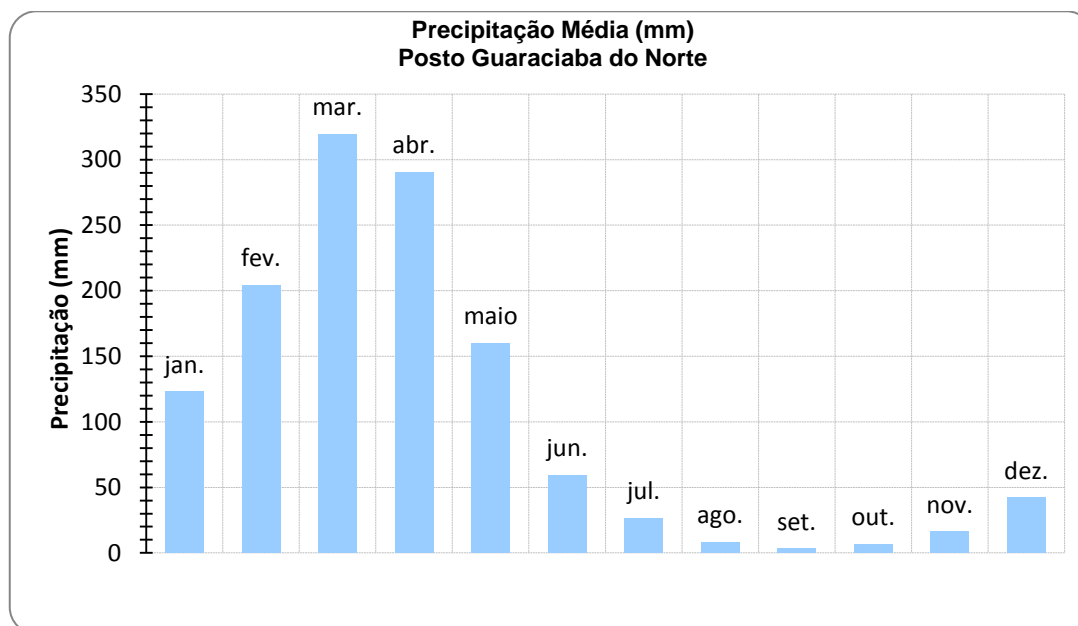


Figura 4.1.10 - O regime de chuvas no posto Guaraciaba do norte

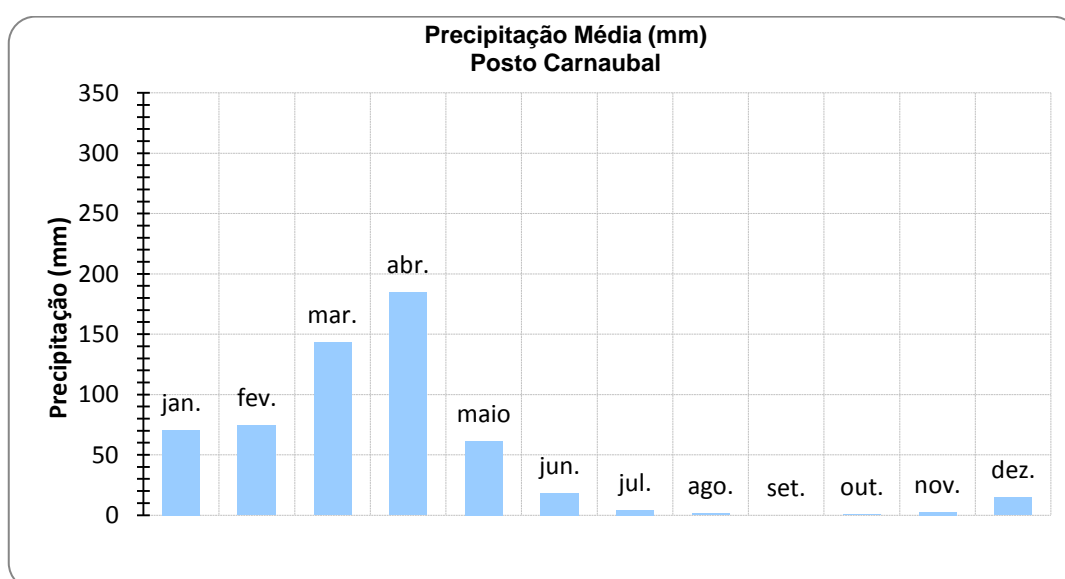


Figura 4.1.11 - O regime de chuvas no posto Carnaubal

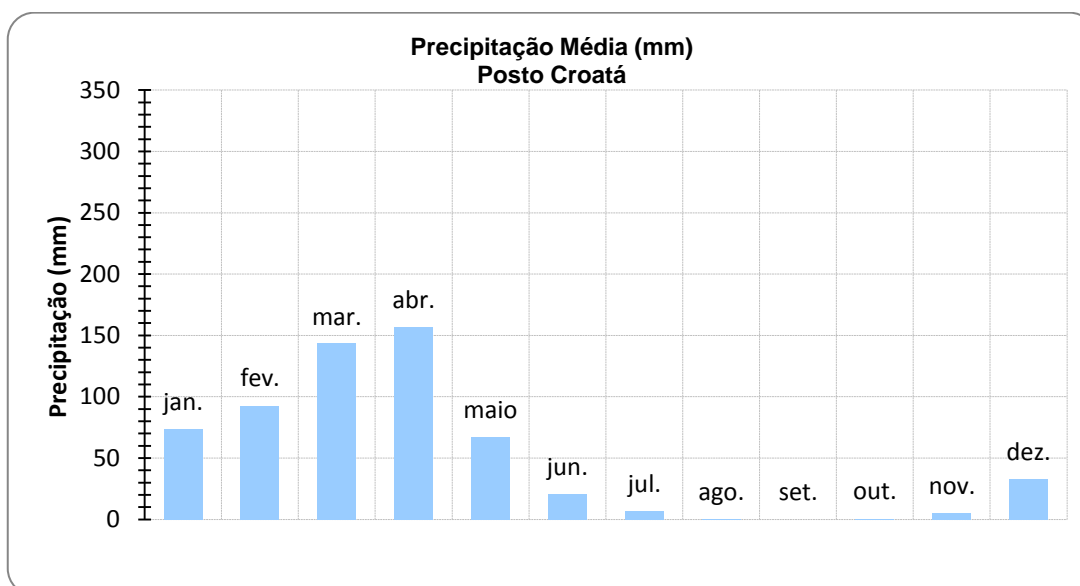


Figura 4.1.12 - O regime de chuvas no Posto Croatá

Embora o regime de chuvas seja o mesmo para os três postos, observa-se que nas cabeceiras da bacia (representado pelo posto Guaraciaba do Norte) chove, em termos médios, mais que o dobro do restante da bacia (representado pelos postos Carnaubal e Croatá). Os eixos das barragens situam-se na região denominada Carrasco da Ibiapaba, com médias pluviométricas inferiores as do restante do Estado do Ceará.

4.1.3.8. A Variabilidade Interanual das Chuvas na Bacia das Barragens Inhuçu e Lontras

Uma característica marcante das chuvas da região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro, região onde as bacias se inserem, é a imensa variabilidade espacial e temporal das suas chuvas. A variabilidade temporal se dá em duas escalas de tempo – a intra-anual e a interanual. No que se refere à variabilidade intra-anual ele se mostra na sazonalidade das chuvas – um período chuvoso bem definido (o ‘inverno’) e um período seco, mais longo. No que se refere à variabilidade interanual, é a maior do mundo, somente comparável ao noroeste da Austrália. Anos extremamente chuvosos e extremamente secos se intercalam de maneira tão irregular que dificulta sobremaneira a previsão do total precipitado durante a estação chuvosa.

A **Figura 4.1.13** mostra os totais anuais precipitados nos postos pluviométricos de Croatá e Guaraciaba do Norte, no interior da bacia. Observam-se anos **extremamente secos** como **1919** (284,7mm em Guaraciaba do Norte) e **1983** (415,8 em Guaraciaba do Norte e 168,1 em Croatá) e **extremamente chuvosos** como **1929** e **1924** (3.186,1mm e 2.392,9, respectivamente, em Guaraciaba do Norte) e **1985** (2.602,0mm em Guaraciaba do Norte e 1.116,8mm em Croatá) na série histórica.

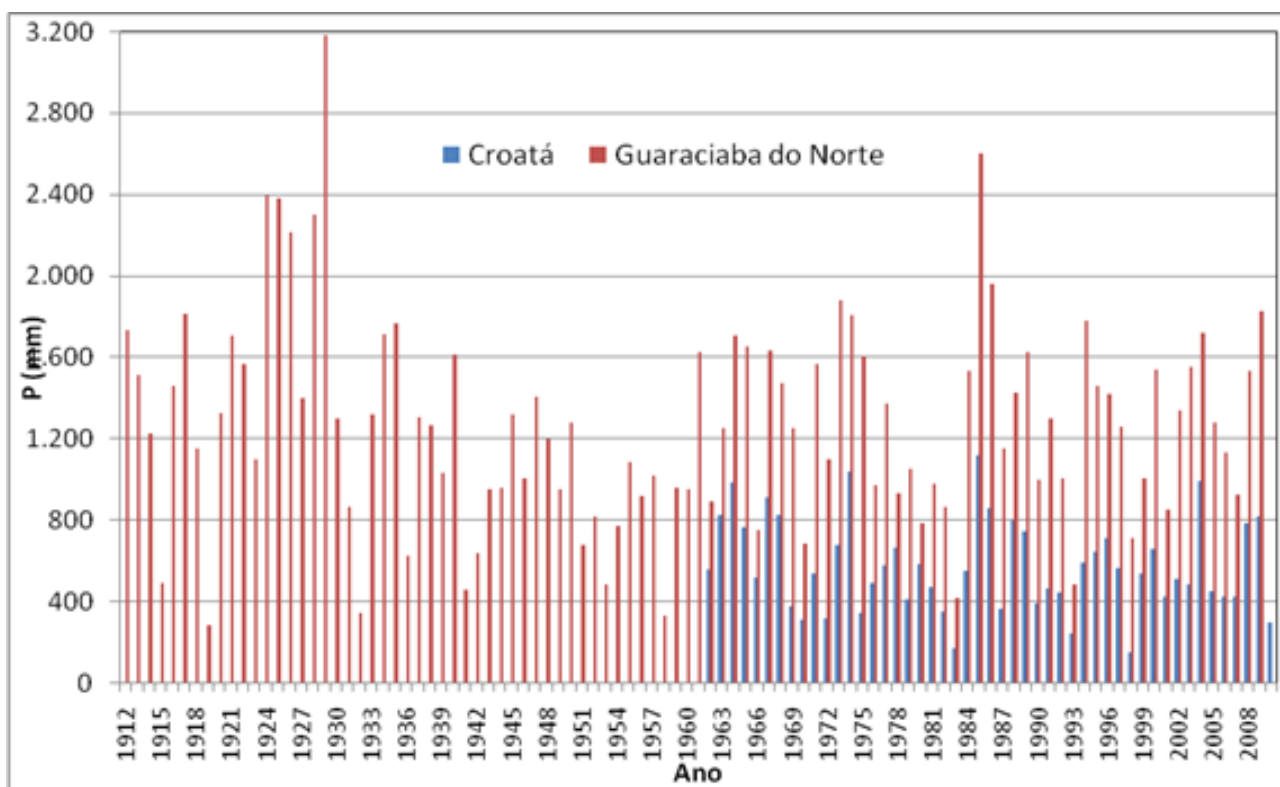


Figura 4.1.13 - Precipitações anuais nos postos pluviométricos Croatá e Guaraciaba do Norte

4.1.4. Caracterização Morfométrica das Barragens Inhuçu e Lontras

A curva cota x volume da Barragem Inhuçu e da Barragem Lontras encontram-se nos **Quadro 4.1.9** e **Quadro 4.1.10** e **Figuras 4.1.14** e **4.1.15**.

Quadro 4.1.9 - Curva Cota (m) x Volume (hm³) da Barragem Lontras

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

Quadro 4.1.10 - Curva Cota (m) x Volume (hm³) da Barragem Inhuçu

Cota(m)	Volume
564	0,007
565	0,029
570	0,41
575	1,64
580	4,21
585	8,42
590	14,92
595	24,4
600	37,68
601*	40,8
605	55,1
610	78,60

(*) Cota do vertedouro

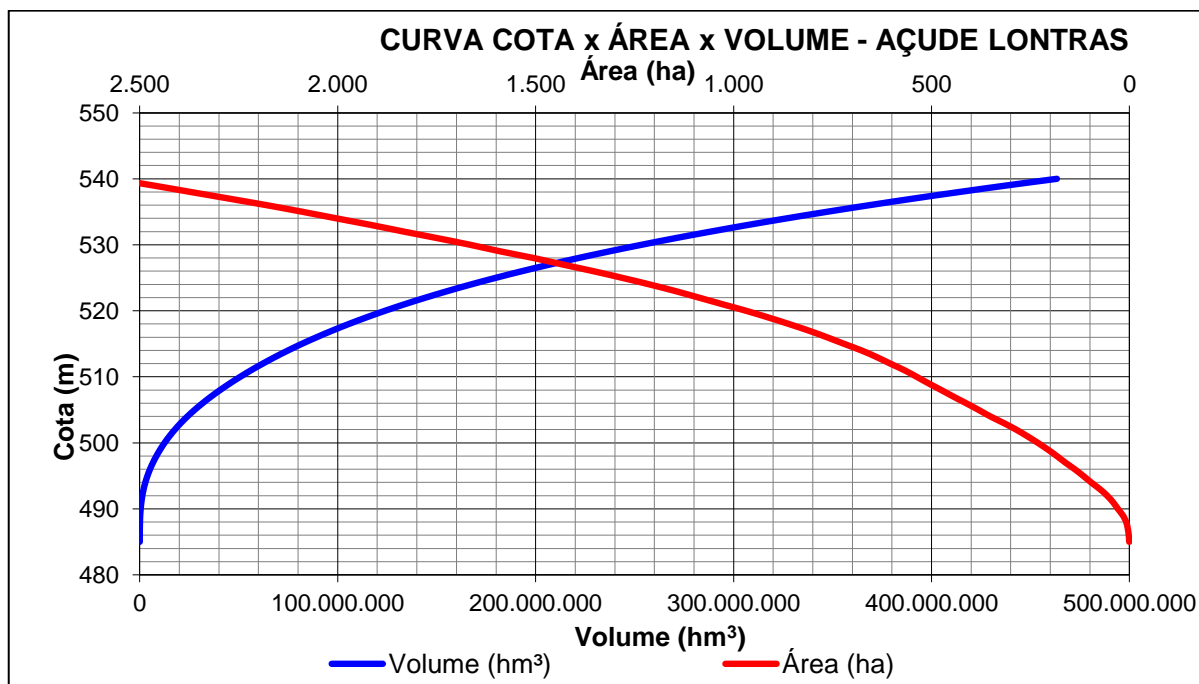


Figura 4.1.14 - Curva Cota (m) x Volume (hm³) da Barragem Lontras

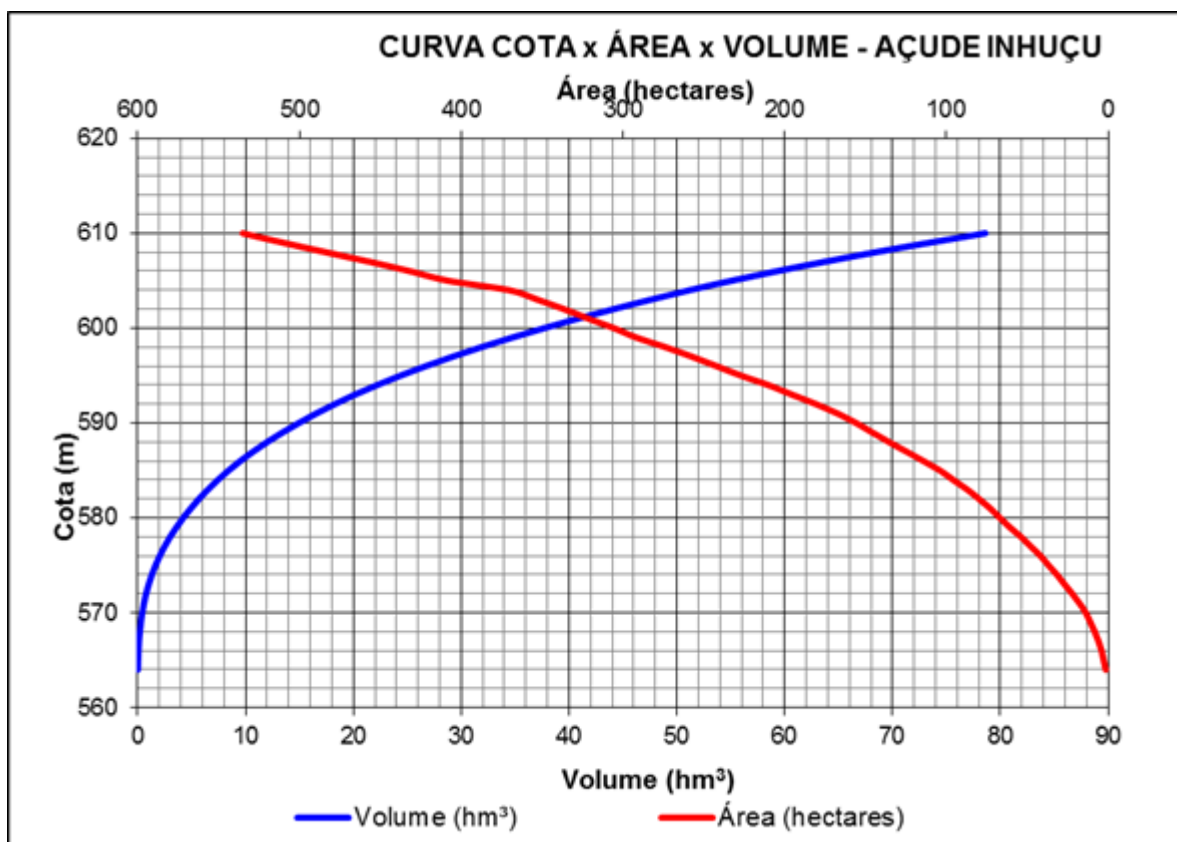


Figura 4.1.15 - Curva Cota (m) x Volume (hm³) da Barragem Inhuçu

4.1.5. O Regime De Chuvas Intensas Nas Bacias Das Barragens Inhuçu e Lontras

Como alternativa ao método clássico dos pluviogramas, tem-se o **Método das Isozonas** (Torrico, 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 Torrico, 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 4.1.16**). A metodologia empregada obedeceu a sequência descrita a seguir:

- Selecionar o posto pluviométrico;
- Selecionar, para cada ano, o valor da precipitação máxima diária e formar a série de máximos anuais;
- Ajustar a série de máximos anuais a uma ou mais distribuições de probabilidade e executar, para cada uma delas, o teste do qui-quadrado para verificar a qualidade do ajustamento;
- Selecionar uma distribuição de probabilidades e estimar, para os períodos de retorno desejados, a chuva intensa de um dia de duração;
- Transformar a chuva de um dia em chuva de 24 horas de duração através da relação: $P_{24h} = 1,1 P_{1dia}$
- Localizar a isozona do posto estudado e extrair do Quadro os valores das relações entre a chuva de 24 horas e as chuvas de 1 hora e de 6 minutos, para os períodos de retorno em estudo;
- Calcular a chuva de 6 minutos hora de duração, através da multiplicação pelo fator R' , ou seja: $P_{6\ min} = R' \cdot P_{24h}$
- Calcular a chuva de 1 hora de duração, através da multiplicação pelo fator R , ou seja: $P_{1h} = R \cdot P_{24h}$
- Conversão da chuva pontual em chuva espacial para toda a região pela equação:

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

onde:

W = parâmetro regional;

P_A = Precipitação sobre toda a área;

P_0 = Chuva pontual;

A = Área em estudo;

A_0 = 25 km² (área base para chuva pontual)

- Colocar em gráficos em papel probabilístico próprio, os valores P_{24h} e P_{1h} e P_{24h} e P_{6min} e ligá-los através de uma reta para obtenção de chuvas de durações intermediárias.

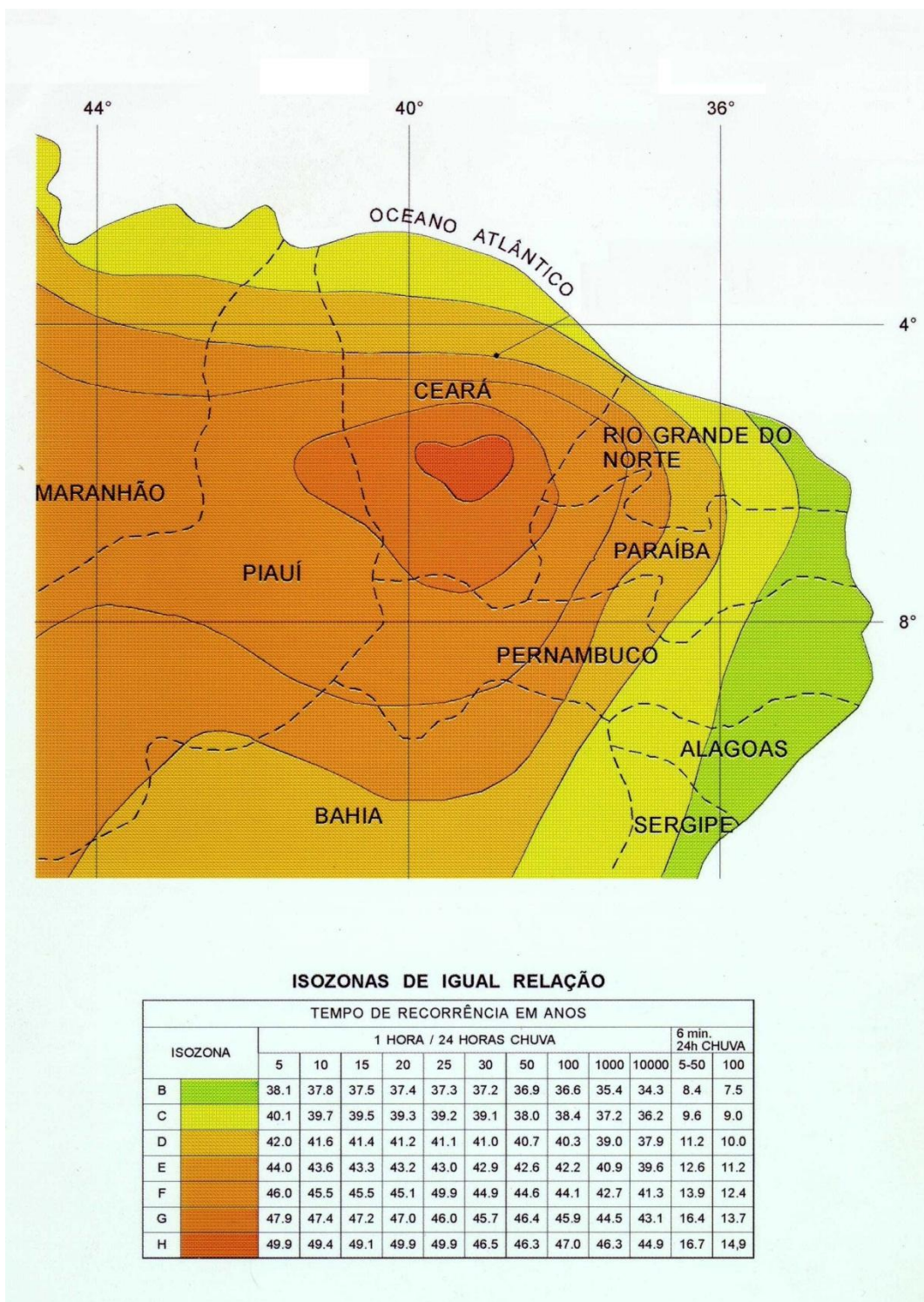


Figura 4.1.16 - Isozonas de igual relação (Fonte: Torrico, 1975)

4.1.5.1. Seleção da distribuição de probabilidades e estimativas de precipitações máximas anuais

Os resultados, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, utilizando-se a distribuições de probabilidades Pearson Tipo II (Gama 2 parâmetros), que mostrou um excelente grau de ajustamento, encontram-se no **Quadro 4.1.11**.

Quadro 4.1.11 - Precipitações máximas (mm) em Guaraciaba do Norte, Ibiapina, Ubajara e Croatá com durações de 1 dia para períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, seguindo a distribuição Pearson Tipo III

Localidade	Tr = 1.000 anos	Tr = 10.000 anos
Guaraciaba do Norte	216,7	259,6
Ibiapina	214,1	251,9
Ubajara	211,4	260,6
Croatá	152,9	181,4

Observa-se que os valores das precipitações máximas diárias nos postos Guaraciaba do Norte, Ibiapina e Ubajara, estimados pela distribuição de probabilidades Pearson Tipo III, são praticamente iguais. Adotou-se, portanto, as precipitações dos postos de Guaraciaba do Norte e Croatá para o estudo de chuvas intensas. O primeiro foi utilizado para estimar as chuvas intensas na bacia do Inhuçu e Lontras (ambos isolados) e Croatá, para as chuvas intensas sobre a área livre da bacia do Lontras, tendo Inhuçu a sua montante.

4.1.5.2. Características das Séries de Chuvas Máximas com 1 dia de Duração

O **Quadro 4.1.12** 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 mm.

Quadro 4.1.12 - Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos Guaraciaba do Norte e Croatá

Características da Precipitação	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

4.1.5.3. Chuvas máximas com durações de 24 horas

As chuvas virtuais de 24 horas de duração, contidas no **Quadro 4.1.13** foram obtidas multiplicando-se as precipitações contidas no **Quadro 4.1.12** pelo fator 1,10 (4.6)

Quadro 4.1.13 - 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

4.1.5.4. 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 4.1.13** 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 4.1.14 - 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

4.1.5.5. Conversão da chuva pontual em chuva espacial

Os **Quadros 4.1.15 e 4.1.16** 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.5.

Quadro 4.1.15 - 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-	P _{A 24h} =r.P _{o 24h}	P _{A 1h} =r.P _o
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 4.1.16 - 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-	P _{A 24h} =r.P _{o 24h}	P _{A 1h} =r.P _o
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 4.1.17 - 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
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 **Figuras 4.1.17 a 4.1.19** respectivamente, para a bacia do Inhuçu, Lontras (sem Inhuçu a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante).

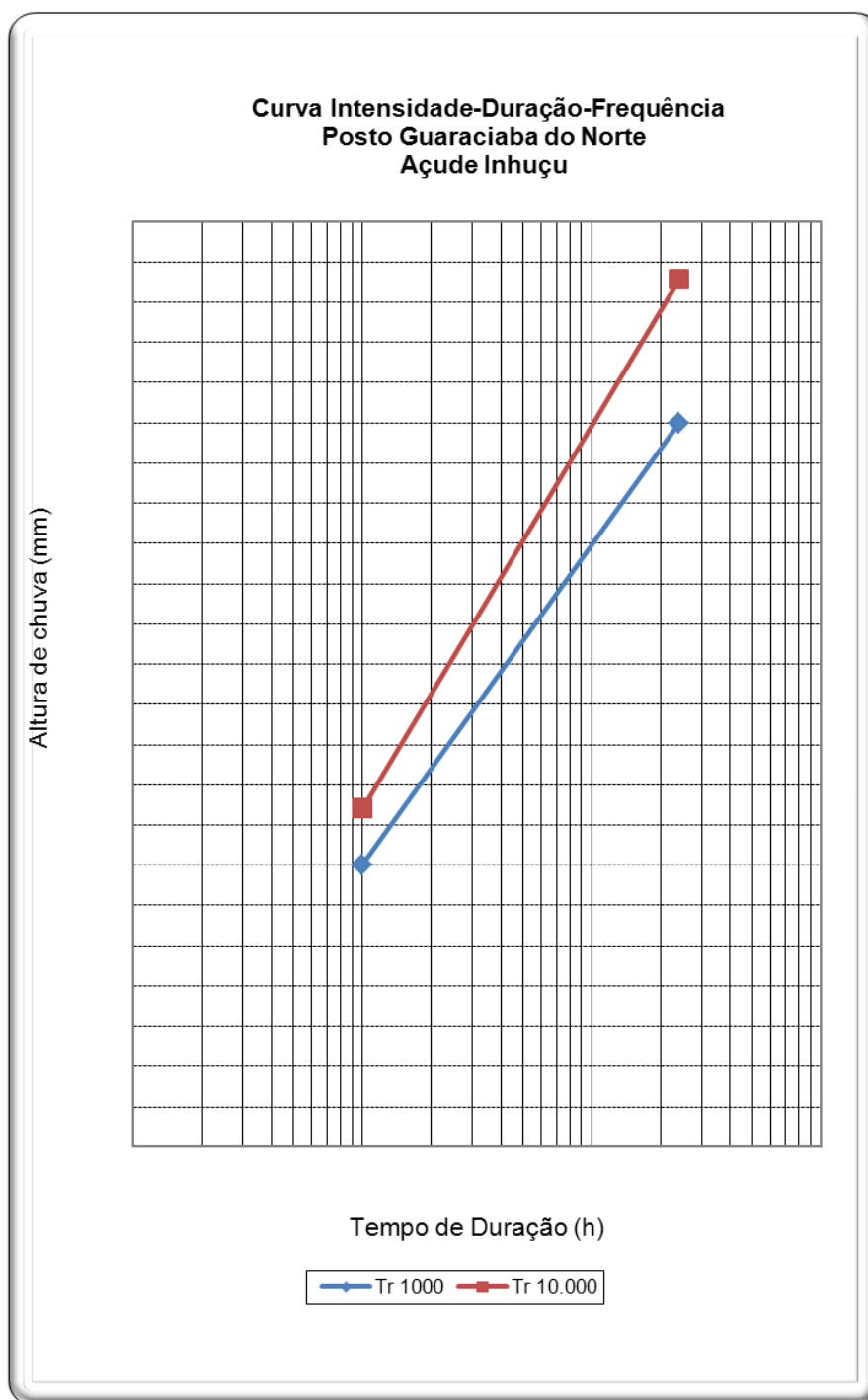


Figura 4.1.17 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia da Barragem Inhuçu com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte.

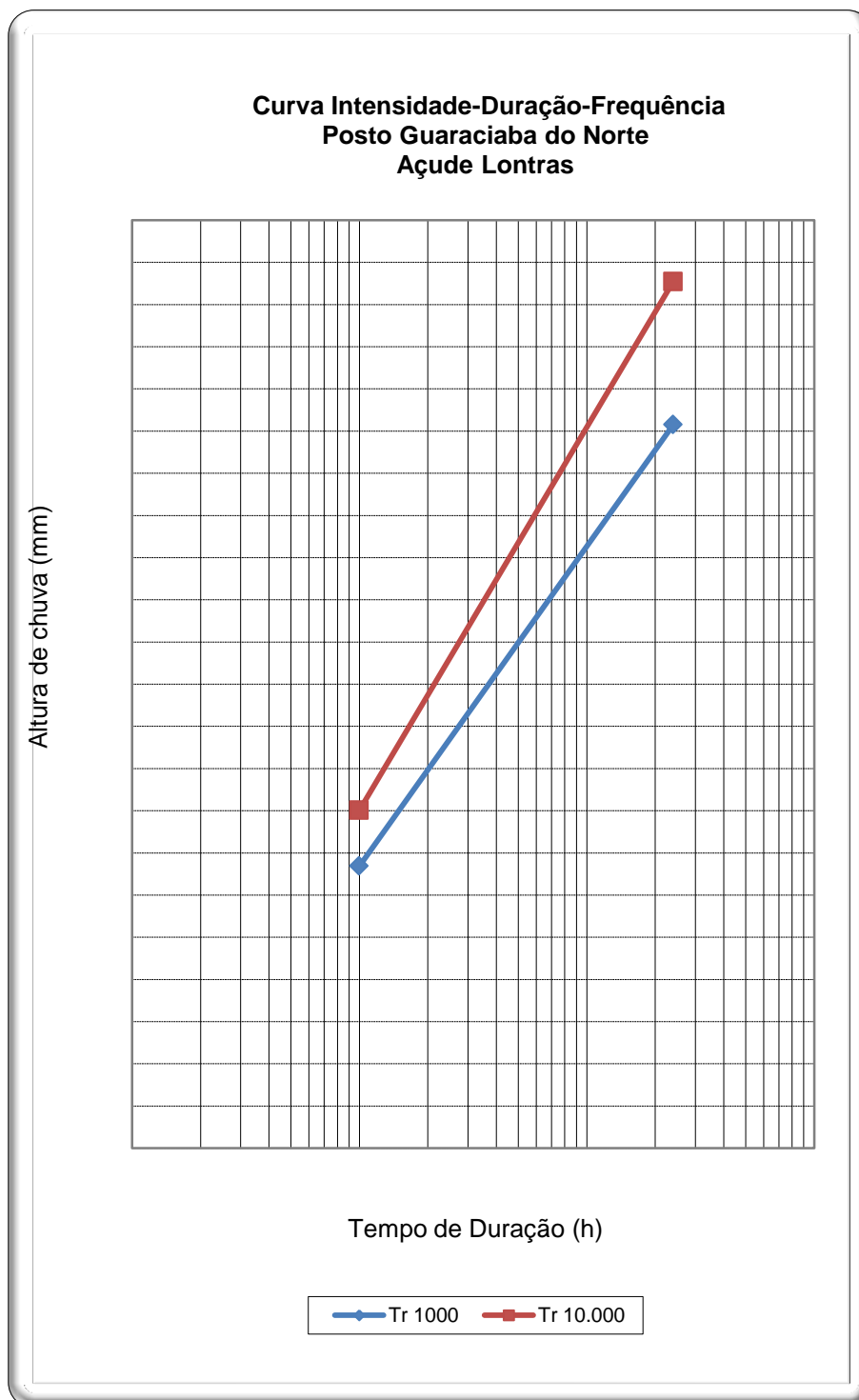


Figura 4.1.18 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia da Barragem Lontras com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte

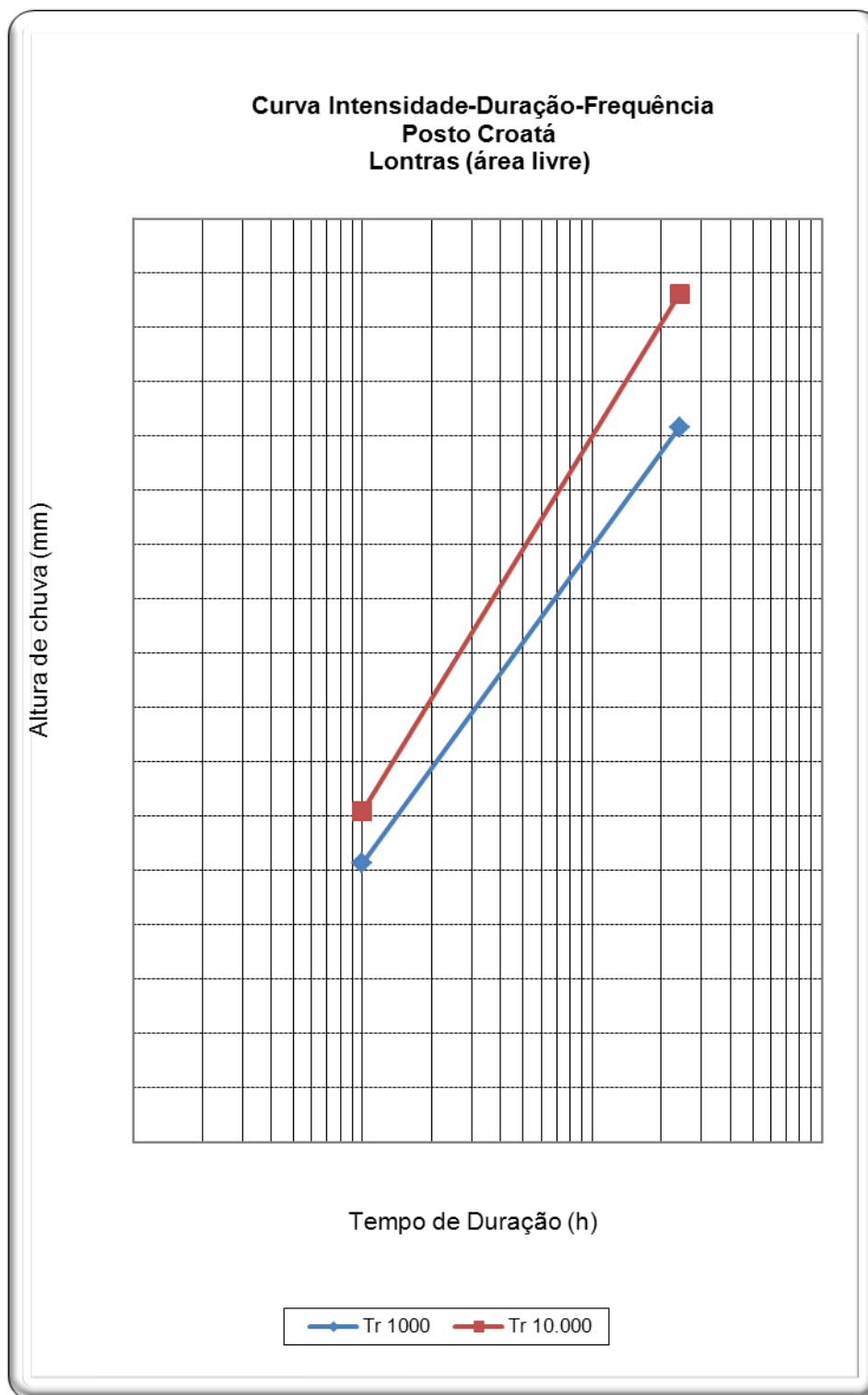


Figura 4.1.19 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia da Barragem Lontras (Área Livre a jusante da Barragem Inhuçu) com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Croatá.

Embora os tempos de concentração das bacias da Barragem Inhuçu, Lontras (sem barramentos a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante), sejam iguais a 9,4 horas, 13,8 horas e 7,2 horas, respectivamente, foram determinadas as suas distribuições acumuladas de chuva ao longo de o dobro de t_c , considerando $T_r = 1.000$ e 10.000 anos (**Quadro 4.1.18**).

Quadro 4.1.18 - Distribuição acumulada da chuva sobre as bacias das Barragens Lontras e Inhuçu, a cada intervalo de 1 hora

Duração da Chuva (horas)	Inhuçu		Lontras isolado		Lontras com Inhuçu a	
	$T_r = 1.000$	$T_r = 10.000$	$T_r = 1.000$	$T_r = 10.000$	$T_r = 1.000$	$T_r = 10.000$
1	70,20	84,09	66,89	80,13	51,36	60,94
2	93,00	111,00	90,00	109,00	69,00	81,00
3	109,00	130,00	102,00	122,00	80,00	93,00
4	119,00	140,00	112,00	135,00	86,00	102,00
5	126,00	150,00	120,00	143,00	92,00	110,00
6	130,00	160,00	126,00	150,00	97,00	115,00
7	138,00	164,00	130,00	158,00	100,00	120,00
8	141,00	170,00	135,00	162,00	104,00	123,00
9	146,00	175,00	140,00	168,00	107,00	127,00
10	150,00	180,00	142,00	170,00	110,00	130,00
11	152,14	182,54	144,11	172,53	111,55	131,88
12	154,29	185,09	146,22	175,07	113,10	133,75
13	156,43	187,63	148,32	177,60	114,65	135,63
14	158,57	190,18	150,43	180,13	116,20	137,50
15	160,72	192,72	152,54	182,66	117,75	139,38
16	162,86	195,27	154,65	185,20	119,30	141,25
17	165,00	197,81	156,76	187,73	120,85	143,13
18	167,14	200,36	158,87	190,26	122,40	145,01
19	169,29	202,90	160,97	192,79	123,95	146,88
20	171,43	205,45	163,08	195,33	125,50	148,76
21	173,57	207,99	165,19	197,86	127,05	150,63

Duração da Chuva (horas)	Inhuçu		Lontras isolado		Lontras com Inhuçu a	
	Tr = 1.000	Tr = 10.000	Tr = 1.000	Tr = 10.000	Tr = 1.000	Tr = 10.000
22	175,72	210,54	167,30	200,39	128,60	152,51
23	177,86	213,08	169,41	202,92	130,15	154,38
24	180,00	215,62	171,51	205,46	131,70	156,26

Pelo **Quadro 4.1.18**, observa-se que as chuvas críticas para a bacia da Barragem Inhuçu ($t_c = 9$ hs) para Tr de 1.000 e 10.000 anos são, respectivamente, 146 e 175 mm. Para a bacia da Barragem Lontras (sem barramentos a montante) ($t_c = 14$ hs), estes valores são 150,4 e 180,1mm. Já para a área livre da Barragem Lontras (retirando a área controlada pela Barragem Inhuçu) ($t_c = 7$ hs), os valores encontrados são 100 e 120mm.

4.1.6. O regime fluvial do rio Inhuçu nas barragens Inhuçu e Lontras

O presente item aponta como foram identificados os dados fluviométricos disponíveis nas seções de controle, consolida estes dados e caracteriza o regime fluvial do rio Inhuçu no sítio das barragens Inhuçu e Lontras.

4.1.6.1. Dados fluviométricos disponíveis

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”. Observa-se a existência de um posto fluviométrico no mesmo rio a ser barrado – o posto Croatá – cujas principais características são apresentadas no **Quadro 4.1.19**.

Quadro 4.1.19 - Características do Posto Fluviométrico Croatá

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude	Área (km ²)	Operando
34730000	Croatá	Croatá	4°24'56”	40°54'39”	580	1.030,00	sim

Fonte: HIDROWEB (banco de dados eletrônico)

A bacia de drenagem do Posto Fluviométrico Croatá inclui a da barragem Inhuçu; a barragem Lontras situa-se à jusante do posto, no mesmo rio. Sendo assim, as séries *históricas* afluentes aos dois barramentos serão determinadas utilizando-se os dados do Posto Fluviométrico Croatá, corrigidas pela relação entre as áreas (**Quadro 4.1.20**).

Quadro 4.1.20 - Características das séries afluentes ao posto fluviométrico Croatá e as Barragens Lontras e Inhuçu

	Est. Fluviométrica	Barragem Lontras	Barragem Inhuçu
Área (km ²)	1.030 km ²	1.414 km ²	847 km ²
Vazão Média	3,77 m ³ /s	5,26m ³ /s	3,14m ³ /s
CV	0,9	0,9	0,9
Extensão da Série	1963 – 2006	1963 – 2006	1963 – 2006

O regime fluvial do Rio Inhuçu nos sítios das barragens Lontras e Inhuçu podem ser observados no **Quadro 4.1.21** e nas **Figuras 4.1.20** e **4.1.21**.

Quadro 4.1.21 - Vazões médias Mensais Afluentes às barragens Inhuçu e Lontras (hm³)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Lontras I	6,1	8,7	21,6	32,1	28,2	17,8	15,4	11,0	8,3	5,7	3,9	4,3
Inhuçu-Sotero	3,6	5,2	12,9	19,2	16,9	10,7	9,2	6,6	4,9	3,4	2,3	2,5

Fonte: Hidroweb

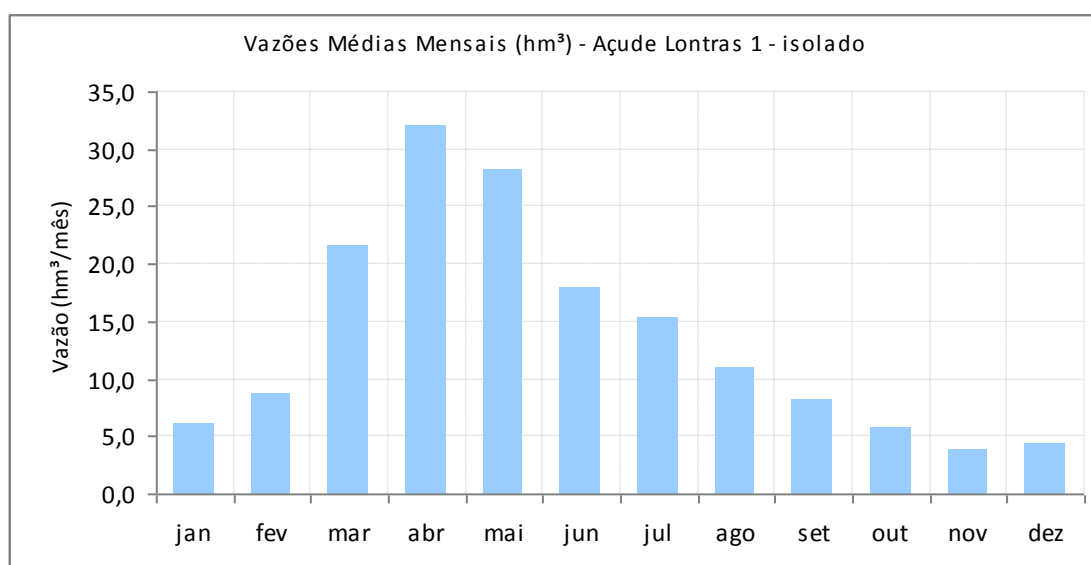


Figura 4.1.20 - Vazões médias mensais Afluentes à barragem Lontras (hm³)

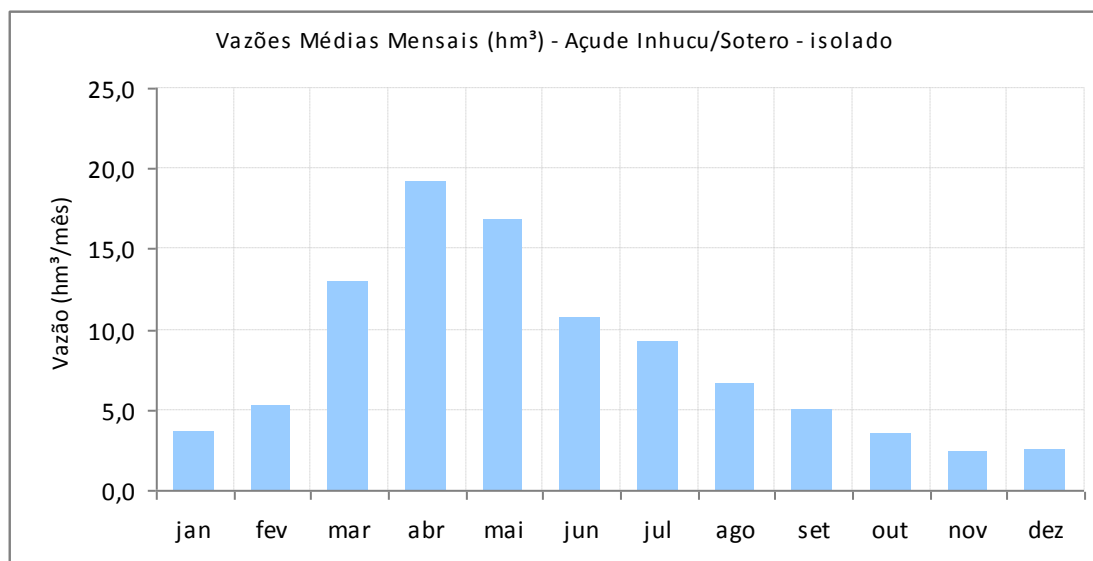


Figura 4.1.21 - Vazões médias mensais Afluentes à barragem Inhuçu (hm³)

4.1.6.2. Vazões em Estudos Anteriores: Análise comparativa

São três os estudos que trazem em seu corpo dados hidrológicos referentes à região em estudo:

Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH (1992)

Eixo de Integração da Ibiapaba – SRH (2000)

Marco Regulatório – Relatório Final do GTO – Grupo Técnico Operacional – Subgrupo 1 – Hidrologia – (ANA/SRH-CE/SRH-Pi/DNOCS/CODEVASF, 2001)

No que refere ao PERH (1992), este utilizou o modelo hidrológico MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável. No caso bacia em estudo foi gerada uma série sintética para o posto fluviométrico Croatá (1912 – 1988).

No que se refere ao Plano da Ibiapaba (2000), o estudo utilizou as mesmas séries geradas anteriormente pelo PERH (período 1912 a 1988) e as estendeu até 1997, utilizando o modelo chuva deflúvio. Por se tratar basicamente, dos mesmos dados do PERH, os do Plano da Ibiapaba não serão tratados neste texto.

Já o Grupo Técnico Operacional da ANA, para a definição do Marco Regulatório (2001), utilizou o modelo determinístico chuva-vazão CN-3S (Curve Number with Three Step Antecedent Precipitation) desenvolvido com o objetivo de gerar vazões sintéticas para a simulação de operações de reservatórios. O CN-3S utiliza como dados de entrada, necessários ao cálculo da lâmina de escoamento superficial de um determinado intervalo de

tempo, a precipitação pluviométrica do próprio período e as precipitações dos três períodos antecedentes. O Marco Regulatório gerou uma série fluviométrica para cada reservatório – Inhuçu e Lontras - mas em eixos diferentes dos escolhidos no presente estudo.

Uma das maneiras que se usou para avaliar estes dados foi assumir que as vazões afluentes as Barragens Inhuçu e Lontras tenham as mesmas características apontadas no PERH e Marco Regulatório. Sendo assim, o **Quadro 4.1.22** apresenta as vazões médias afluentes anuais das duas barragens, tendo os três estudos como base.

Quadro 4.1.22 - Vazões médias Afluentes Anuais às barragens Inhuçu e Lontras (hm³) com base em estudos anteriores

Fonte	Vazão Média Afluente anual (hm ³)	Vazão Média Afluente anual (hm ³)	Diferença em relação ao estudo atual
Estudo Atual (dados flu Croatá – hidroweb)	97,68	163,06	-
PERH	129,38	215,99	30%
Marco Regulatório	103,93	173,50	6%

Observa-se que os dados do PERH superestimam as vazões afluentes aos dois barramentos (~30%), enquanto que os dados gerados pela ANA estão bem próximos do adotados neste estudo, com acréscimo de apenas 6%.

4.1.7. A capacidade de regularização das barragens Lontras e Inhuçu

A capacidade de regularização das Barragens Lontras e Inhuçu foram analisadas a partir de suas operações simuladas. A série histórica de vazões utilizadas em cada barramento é a já apresentada em item anterior. 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.

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.

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 180 hm³, correspondente à cota acima da qual a vazão regularizada diminui). No Cenário B, adotou-se a capacidade do reservatório Lontras 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 4.1.23**).

Quadro 4.1.23 - Capacidades adotadas nos cenários A, B e C (em hm³)

CENÁRIO	LONTRAS	INHUÇU	SISTEMA (SOMATÓRIO)	
A		100	100	
B	350	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

O **Quadro 4.1.24** apresenta os resultados das simulações ao adotarem-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 km² 523,00 km²) da bacia da barragem Lontras.

Quadro 4.1.24 - Vazões Regularizadas pelas Barragens Lontras e Inhuçu e pelo Sistema nos cenários A, B e C (em hm³)

CENÁRIO		LONTRAS	INHUÇU	VAZÃO REGULARIZADA PELO SISTEMA (HM ³ /ANO)
A	Capacidade (hm ³)		100,0	
	Vazão Média Afluente		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	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	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	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	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	

CENÁRIO		LONTRAS	INHUÇU	VAZÃO REGULARIZADA PELO SISTEMA (HM ³ / ANO)
C4	Capacidade (hm ³)	350	70	
	Vazão Média Afluente	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	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	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	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 4.1.22** apresenta os resultados das simulações ao adotarem-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.

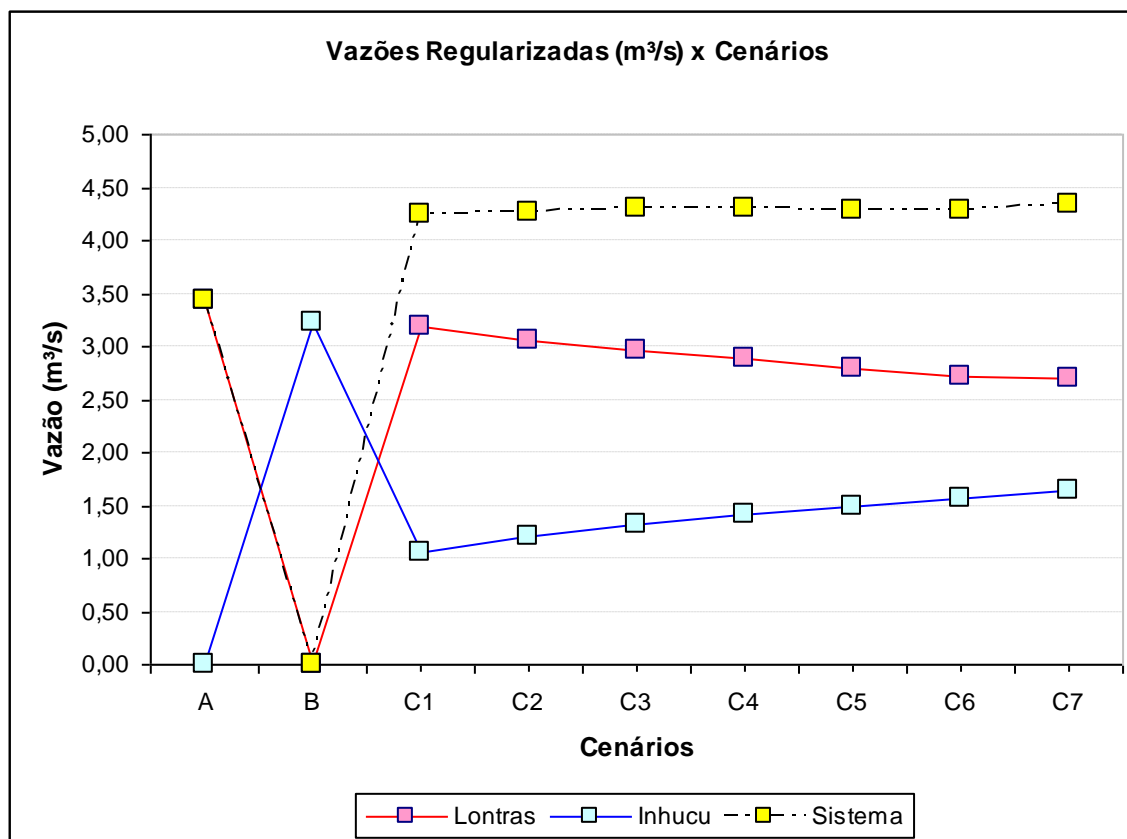


Figura 4.1.22 - Vazões Regularizadas pelas Barragens Lontras e Inhuçu e pelo Sistema nos cenários A, B e C (em hm³)

Sendo assim, o 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).

Considerando o Cenário C1 como o definitivo, uma análise adicional pode ainda ser feita. Considerando-se que se retirará 3m³/s da barragem Lontras, simulou-se o reservatório com vários níveis de água (nível de operação) e determinou-se a garantia anual para esta retirada. Os resultados estão descritos no **Quadro 4.1.25** e na **Figura 4.1.23**.

Quadro 4.1.25 - Nível de operação do reservatório (em hm³) e garantia associada a retirada de 3,0m³/s

Nível de Operação (hm ³)	Cota do reservatório (m)	Garantia Anual G (%)
350	516,25	94,26
300	513,68	92,64
250	510,81	90,08
200	507,53	85,38
197	507,32	85,02
195	507,17	84,78
160	504,48	80,68
158	504,32	80,38
156	504,15	80,04
154	503,98	79,64
150	503,64	73,04

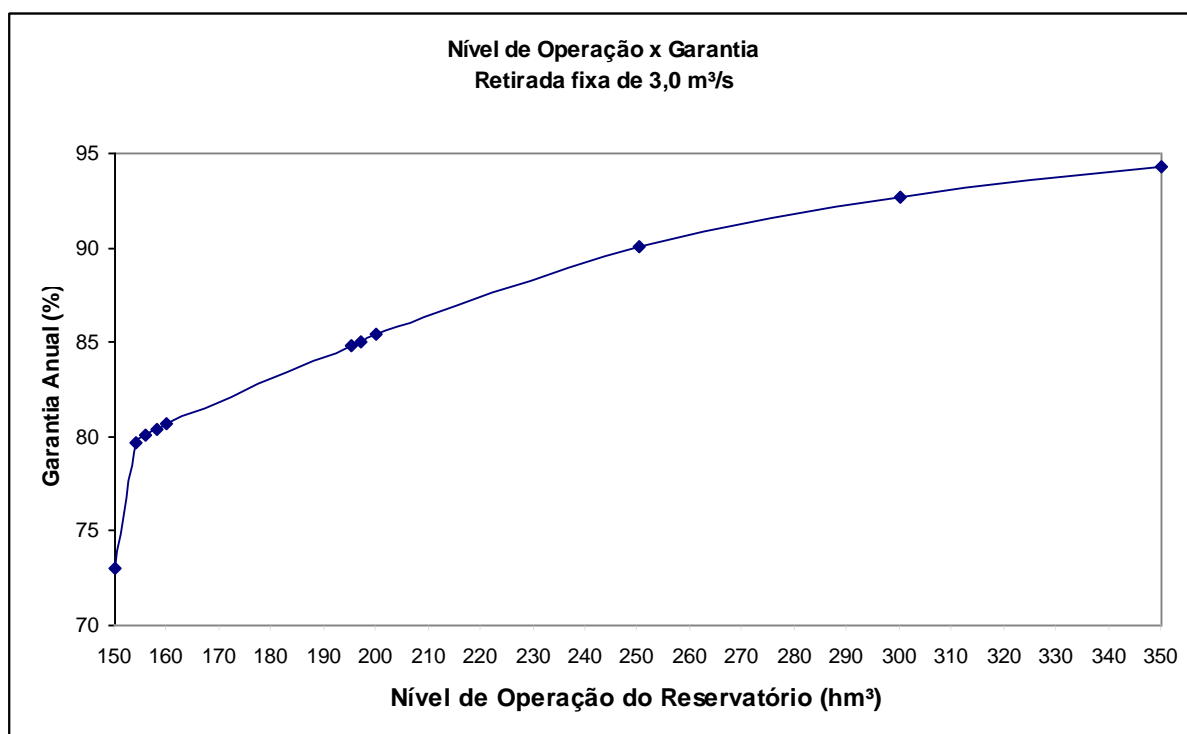


Figura 4.1.23 - Nível de operação do reservatório (em hm³) e garantia associada a retirada de 3,0m³/s

4.1.8. Estudo de Cheias e do Vertedouro

4.1.8.1 Introdução

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.

Para a segurança da barragem Lontras considerou-se neste item o cenário mais adverso, ou seja, a construção da barragem Lontras sem a existência da barragem Inhuçu a montante- Cenário B (Reservatório Lontras isolado). A capacidade selecionada foi de 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).

Por sua vez, o *intervalo de cálculo* deve ser suficientemente curto para definir com precisão o hidrograma de cheia. Estima-se que um intervalo de tempo que produz quatro ou cinco pontos no ramo ascendente do hidrograma é suficientemente preciso (Hoggan, 1996). Dentro destas premissas adotou-se neste estudo um intervalo de tempo (Δt) igual a 1 hora.

4.1.8.2. 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 Lontras (área livre), é de 14hs. De acordo com o Capítulo 4, observa-se que para Lontras a chuva milenar é de 150,4 e a decamilenar é de 180,1 mm. A distribuição do total precipitado ao longo destes períodos seguiu metodologia proposta pelo NWS e pode ser observada no **Quadro 4.1.26**. As **Figuras 4.1.24** e **4.1.25** mostram a chuva balanceada milenar e decamilenar ao longo de 2 t_c para Lontras.

Quadro 4.1.26 - Distribuição temporal das precipitações incrementais ao longo de 18 horas (em mm) considerando o intervalo de duração de 1 hora – Lontras

Intervalos de 1 h	TR=1.000 anos	Tr =1.000 anos	Tr =10.000 anos	Tr =10.000 anos
	Precipitação Incremental (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação Incremental (mm)	Precipitação Acumulada (mm)
1	1,55	1,55	1,88	1,88
2	1,55	3,10	1,88	3,75
3	3,00	6,10	4,00	7,75
4	3,00	9,10	5,00	12,75
5	6,00	15,10	8,00	20,75
6	11,00	26,10	12,00	32,75
7	51,36	77,46	60,94	93,69
8	17,64	95,10	20,06	113,75
9	6,00	101,10	9,00	122,75
10	5,00	106,10	5,00	127,75
11	4,00	110,10	3,00	130,75
12	3,00	113,10	3,00	133,75
13	1,55	114,65	1,88	135,63
14	1,55	116,20	1,88	137,50

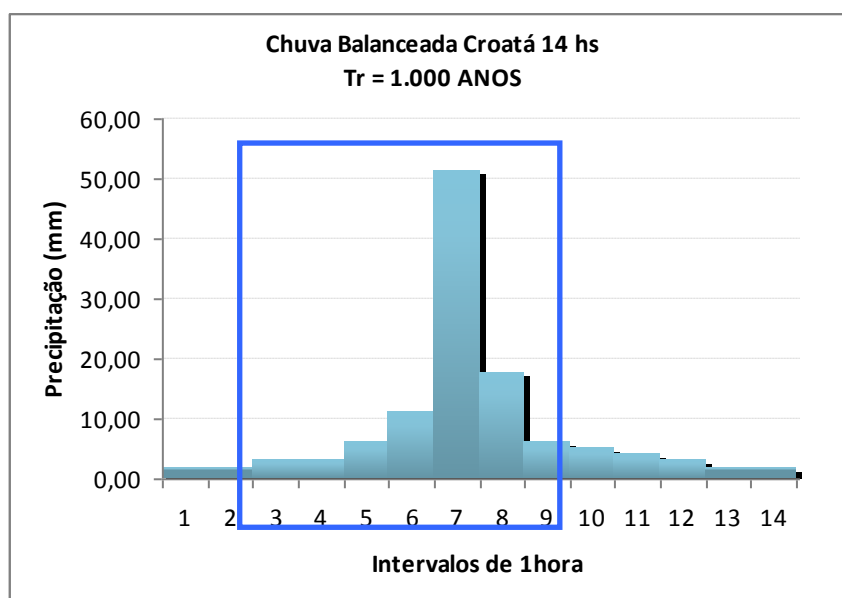


Figura 4.1.24 - Chuva balanceada de 14 horas para Tr=1.000 anos para Lontras

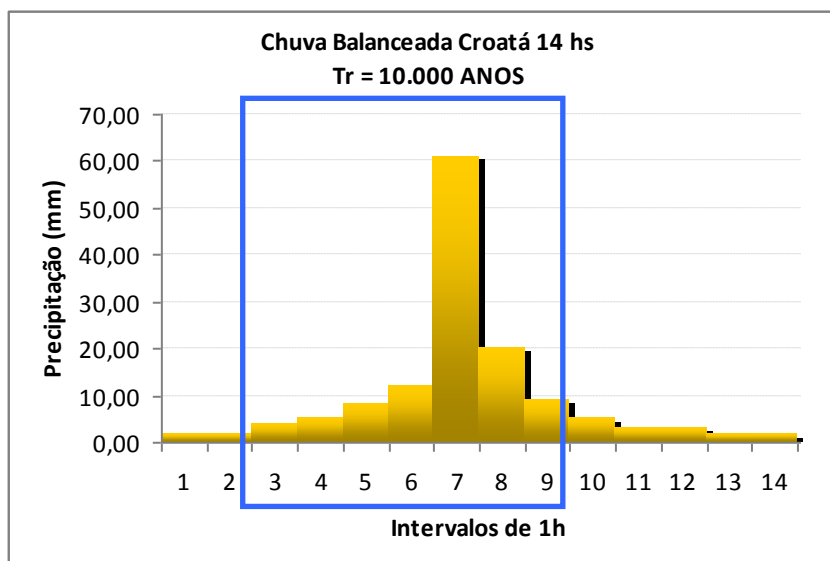


Figura 4.1.25 - Chuva balanceada de 14 horas para Tr=10.000 anos para Lontras

4.1.8.3. Método Chuva-Deflúvio Adotado

A metodologia adotada neste estudo é a do Método do Hidrograma Unitário Triangular, desenvolvido pelo U. S. Soil Conservation Service (1972). Este método, largamente utilizada em estudos desta natureza no Nordeste, se baseia em um hidrograma adimensional, resultado da análise de um grande número de hidrogramas unitários naturais de bacias de variadas extensões e localizações geográficas nos Estados Unidos. De simples aplicação, depende basicamente do tempo de concentração da bacia e nas relações geométricas obtidas na **Figura 4.1.26**.

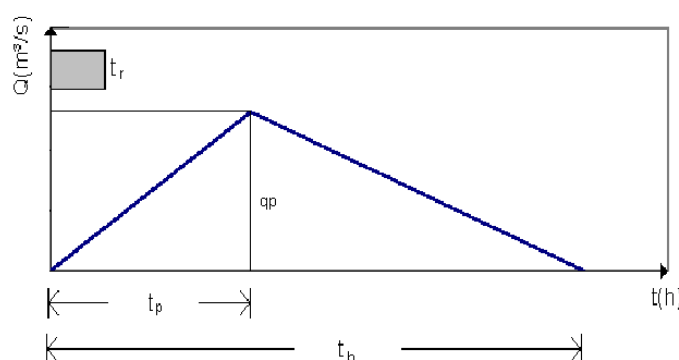


Figura 4.1.26 - Hidrograma Unitário Sintético do Soil Conservation Service

A aplicabilidade do Método do Hidrograma Unitário se dá somente em bacias hidrográficas com áreas até 2.500 km². A bacia hidrográfica as barragens Inhuçu e Lontras estão dentro deste limite.

A retenção de parte da chuva nas depressões do solo e sua infiltração são os principais fatores que afetam a relação chuva-deflúvio, determinando a quantidade de chuva que se transforma em escoamento superficial, conhecida como precipitação efetiva. Utilizou-se para o cálculo da precipitação efetiva as recomendações do “Soil Conservation Service”, com o parâmetro CN, “curve number”, de 65.

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

O **Quadro 4.1.27** apresenta as vazões afluentes e efluentes à barragem Lontras (cenário B) para uma largura do sangradouro da barragem variando entre 80 metros e 120 metros.

Quadro 4.1.27 - Vazões de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes para Tr = 1.000 e 10.000 anos, Lâmina considerando a largura do sangradouro de 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.

A seguir será apresentado os Hidrogramas de Amortecimento e sumários das simulações para as cheias milenar e decamilenar.

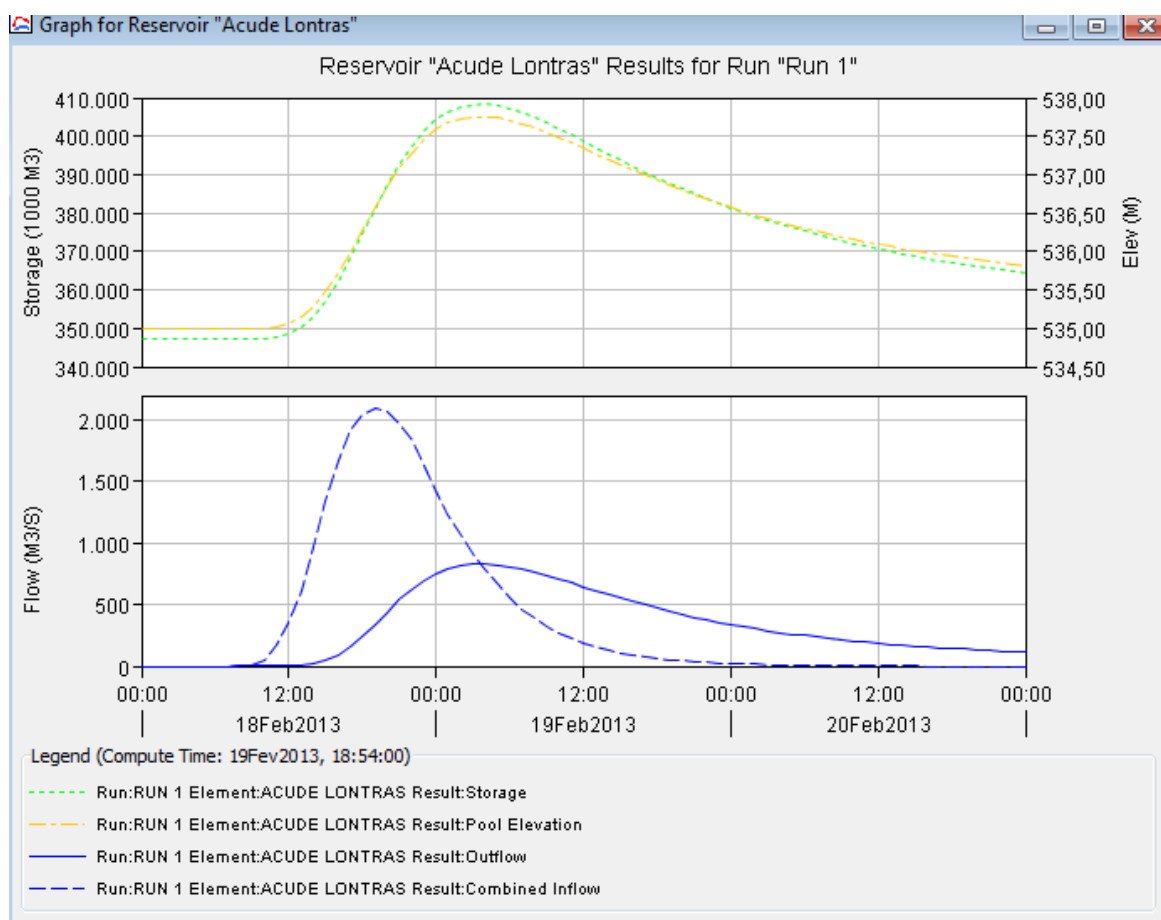


Figura 4.1.27 - Hidrograma do Amortecimento da Cheia Milenar no Barragem Lontras

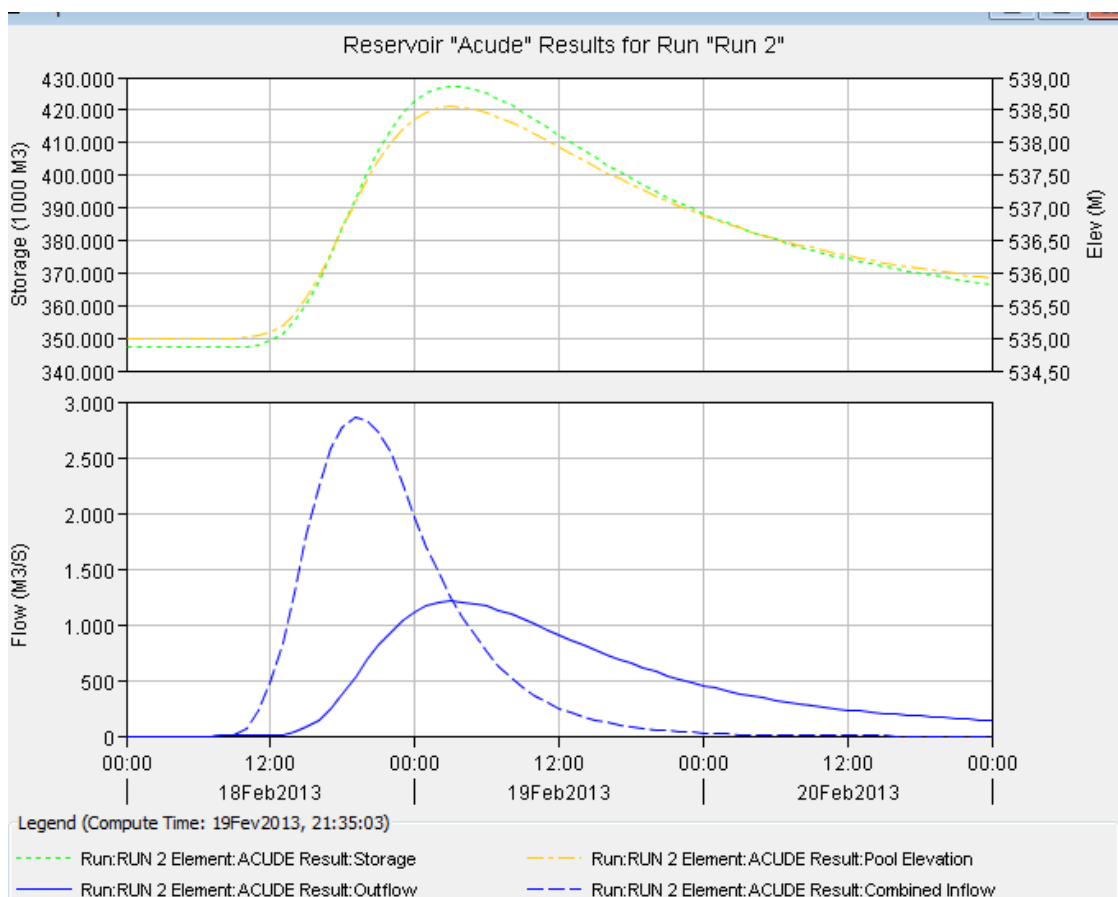


Figura 4.1.28 - Hidrograma do Amortecimento da Cheia Decamilenar na Barragem Lontras

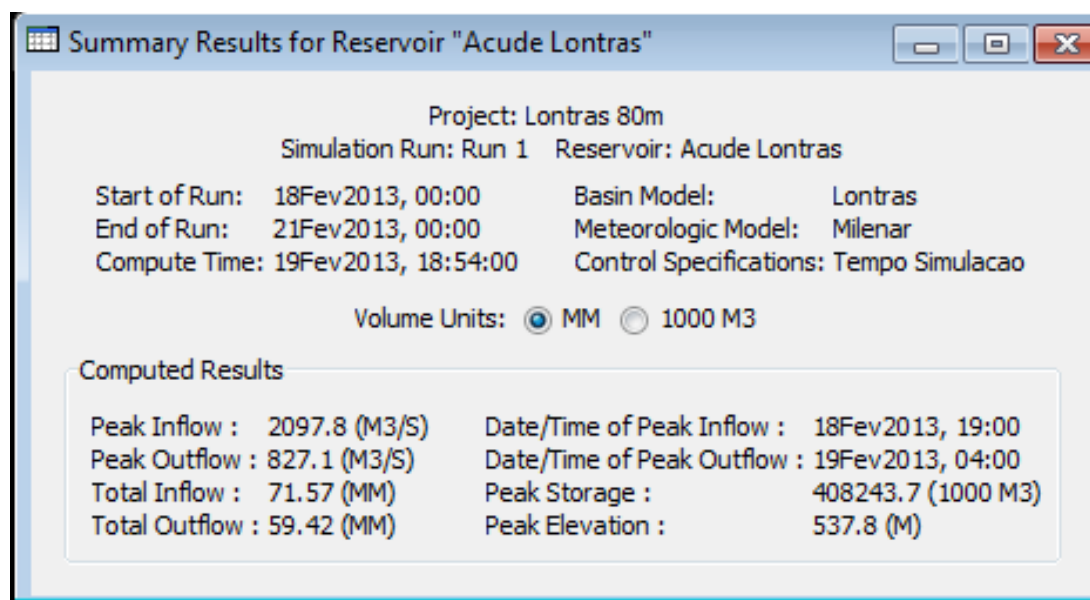


Figura 4.1.29 - Sumário do Amortecimento da Cheia Milenar - (L=80m)

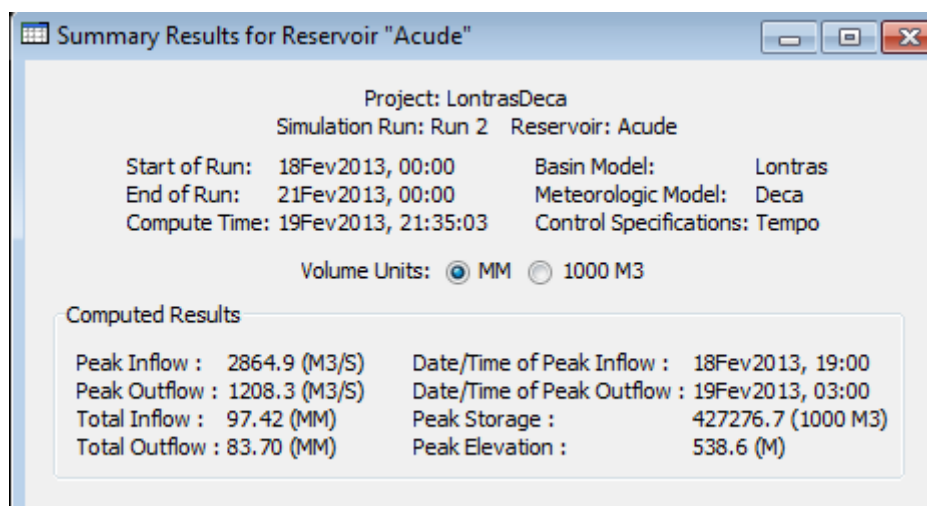


Figura 4.1.30 - Sumário do Amortecimento da Cheia Decamilenar - (L=80m)



Figura 4.1.31 - Sumário do Amortecimento da Cheia Milenar - (L=100m)

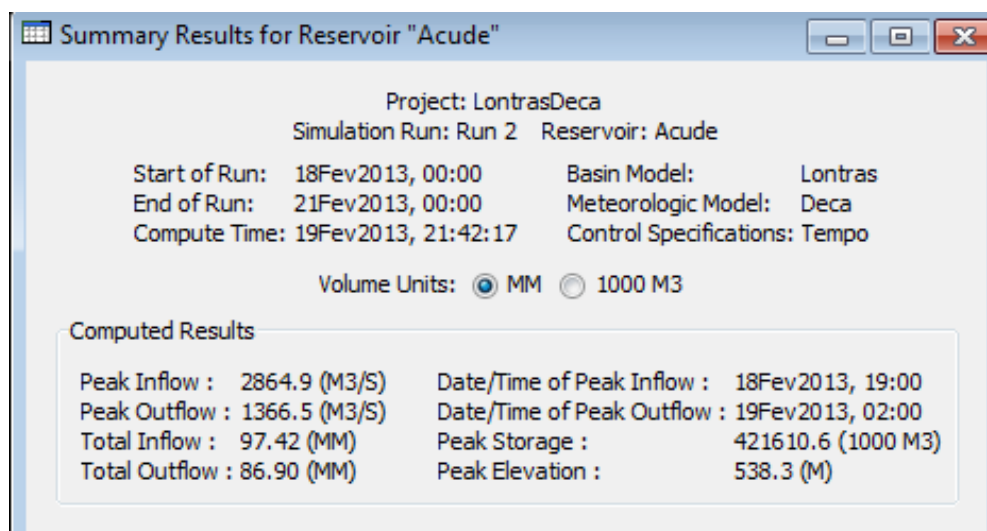


Figura 4.1.32 - Sumário do Amortecimento da Cheia Decamilenar - (L=100m)

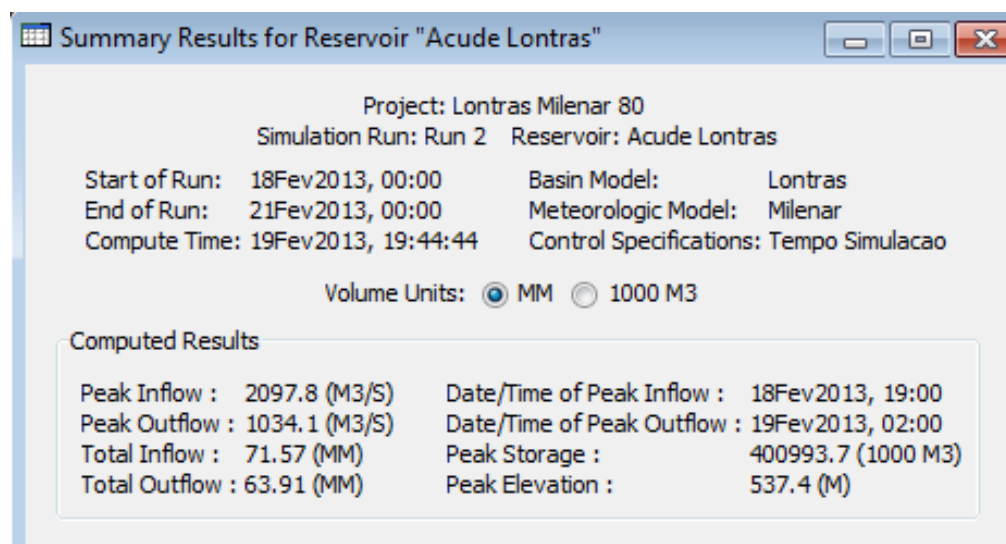


Figura 4.1.33 - Sumário do Amortecimento da Cheia Milenar - (L=120m)

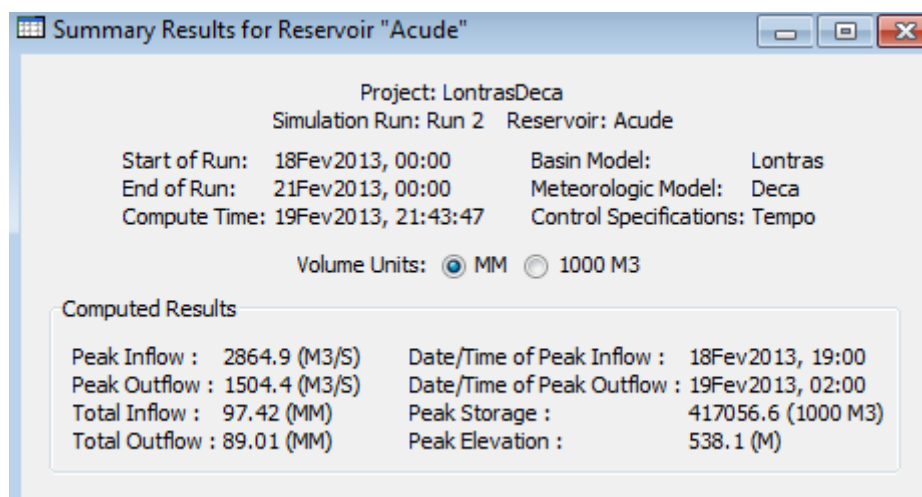


Figura 4.1.34 - Sumário do Amortecimento da Cheia Decamilenar - (L=120m)

Observadas as considerações construtivas e aproveitamento das escavações obrigatórias, adotou-se uma largura para o sangradouro da barragem Lontras de 80 metros. Desta forma o projeto da **barragem Lontras** ficou com os seguintes elementos hidrológicos básicos:

- **Largura do sangradouro: 80,00 m**
- **Vazão máxima efluente (1.000 anos): 2.097,8 m³/s**
- **Vazão máxima efluente (10.000 anos): 2.864,9 m³/s**
- **Lamina máxima (1.000 anos): 2,8 m**
- **Lamina máxima (10.000 anos): 3,6 m**
- **Cota da ogiva do vertedouro Creager: 535,00m**

4.2. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS E TOPOGRÁFICOS

4.2.1 Estudos Cartográficos

Este item apresenta a descrição dos serviços de cartografia iniciados preliminarmente com base nas cartas da SUDENE (escala 1:100.000) e com aquisição de imagens do satélite Geo Eyes e desenvolvidos através de reconhecimento a partir da fotointerpretação, restituições aerofotogramétrica e de levantamentos topográficos.

4.2.1.1 Transporte de Cotas e de Coordenadas

Para apoio a restituição fotogramétrica e aos trabalhos topográficos nos eixos foram realizados, pela empresa Topocart, uma fase de planejamento e 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 do apoio básico foi precedida da etapa de planejamento, que tem como objetivo escolher as melhores alternativas referentes à utilização de pontos planimétricos e altimétricos, que compõem a Rede Oficial do IBGE.

Anteriormente aos trabalhos de campo, realizou-se um planejamento das atividades a fim de proporcionar um rendimento satisfatório, com grau de precisões adequado ao trabalho em questão, com a seguinte sequência de atividades:

Consulta ao IBGE sobre a existência de pontos geodésicos planialtimétricos, sendo preferencialmente escolhidos os vértices da rede geodésica, próximos à área abrangida pelo projeto;

Planejamento dos pontos de apoio suplementar, afim de geoespacializa-los de forma homogêna.

Seleção dos equipamentos de campo e equipe técnica, necessários para execução dos levantamentos.

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.

SIRGAS2000

- Nomenclatura oficial:
Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.- SIRGAS
- Sistema Geodésico de Referência:

Sistema de Referência Terrestre Internacional - ITRS (*International Terrestrial Reference System*).

- Figura geométrica para a Terra:

Elipsóide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (*Geodetic Reference System 1980 – GRS80*);

Semieixo maior $a = 6.378.137\text{m}$;

Achatamento $f = 1/298.257224$.

- Origem:

Centro de massa da Terra (Geocêntrico).

- Orientação:

Polos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0.005''$ com as direções definidas pelo *BIH (Bureau International de l'Heure)*, em 1984,0.

- Estações de Referência:

21 estações da rede continental SIRGAS2000, estabelecidas no Brasil e identificadas formam a estrutura de referência a partir da qual o sistema SIRGAS2000 é materializado em território nacional. É incluída nesse conjunto a estação SMAR, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), cujas coordenadas foram determinadas pelo IBGE posteriormente à campanha GPS SIRGAS2000.

- Época de Referência das coordenadas:

2000,4.

- Materialização:

Estabelecida por intermédio de todas as estações que compõem a Rede Geodésica Brasileira, implantadas a partir das estações de referência.

- Nomenclatura oficial:

South American Datum 1969.

- Figura geométrica para a Terra:

Elipsóide Internacional de 1967 (UGGI 67);

Semieixo maior $a = 6.378.160\text{m}$;

Achatamento $f = 1/298,25$.

Parâmetros referentes ao posicionamento espacial do elipsóide:

- Orientação Geocêntrica;

Eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra; plano meridiano, origem paralelo ao plano meridiano de *Greenwich*, como definido pelo BIH;

- Orientação topocêntrica;

Ponto Datum = Vértice de triangulação Chuá;

$\varphi_G = 19^\circ 45' 41,6527''$ S;

$\lambda_G = 48^\circ 06' 04,0639''$ WGr.;

$\varphi_A = 19^\circ 45' 41,34''$ S;

$\lambda_A = 48^\circ 06' 07,80''$ WGr.;

$A_G = 271^\circ 30' 04,05''$ SWNE para VT-Uberaba;

$N = 0,0$ m.

Onde:

φ_G = Latitude Geodésica;

φ_A = Latitude Astronômica;

λ_G = Longitude Geodésica;

λ_A = Longitude Astronômica;

A_G = Azimute Geodésico;

N = Ondulação Geoidal.

SAD69 -> SIRGAS2000

$\Delta x = -67.35\text{m}$ $\Delta x = 0.00\text{m}$

$\Delta y = +3.88\text{m}$ $\Delta y = 0.00\text{m}$

$\Delta z = -38.22\text{m}$ $\Delta z = 0.00\text{m}$

Vértices Oficiais Utilizados no Apoio Básico

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

Implantação dos vértices da Rede de Apoio Básico

A 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;

Nº. do vértice;

Ano de implantação;

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, visa garantir que a influência do erro altimétrico, devido à variação da Ondulação Geoidal (N), seja desprezível para a respectiva escala.

Um resumo dos dados dos vértices implantados é apresentado a seguir, no **Quadro 4.2.1**

Quadro 4.2.1: 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	

Pré-sinalização do Apoio Suplementar

No que se refere ao Apoio Suplementar ou Fotogramétrico, este servirá 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 tenham o necessário contraste com o solo, a fim de que se destaquem e sejam perfeitamente visíveis nas fotos aéreas.



Figura 4.2.1 - GCP-07



Figura 4.2.2- GCP-09

Determinação das coordenadas dos pontos do Apoio Suplementar

Os pontos 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 4.2.2: Quadro 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

Determinação das Altitudes Ortométricas

Para a obtenção das altitudes ortométricas dos pontos de apoio Básico utilizou-se de nivelamento geométrico. O circuito foi executado partindo de sempre de RN pertencente à rede altimétrica do IBGE conforme citado no tópico “Vértices Oficiais Utilizados no Apoio Básico”. 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.

Circuito RN2596V-PA01-RN2596V:

O circuito 01 (um) teve sua partida no vértice RN2596V e foi desenvolvido por **104.274** km passando pelo PA 01 retornando à 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.

Determinação das Altitudes Ortométricas dos Pontos de Apoio Suplementar

Nivelamento GNSS utilizando MAPGEO

O levantamento altimétrico feito por posicionamento de satélites realizado nessa etapa, chamado de Nivelamento GPS/MAPGEO, consiste basicamente no transporte de altitudes

para os demais vértices da Rede de Apoio Básico, a partir dos vértices de referência de nível pertencentes obtida pelo Nivelamento Geométrico.

O transporte de coordenadas para os vértices foi realizado a partir de rastreamento simultâneo 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, estando o referido fator 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 14 cm.

A ondulação do geóide fornecida pelo IBGE e é ilustrada na **Figura 4.2.3**.

MAPGEO 2010 - Modelo de Ondulação Geoidal

Sistema de Referência: SIRGAS 2000

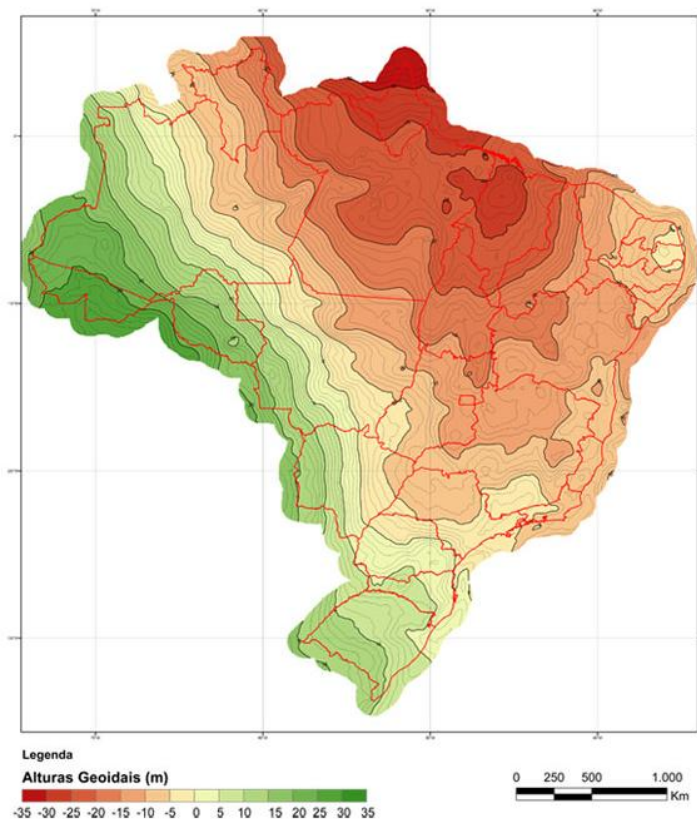


Figura 4.2.3 - Variação das ondulações do geóide em SIRGAS2000

(Fonte IBGE, 2010)

A **Figura 4.2.4** apresenta o Erro Médio Padrão das diferenças oriundas pelo MAPGEO2010 na comparação entre as estações GPS e as RN's.

Discrepâncias entre o Modelo de Ondulação Geoidal 2010 e os pontos GPS/RN

Sistema de Referência: SIRGAS 2000

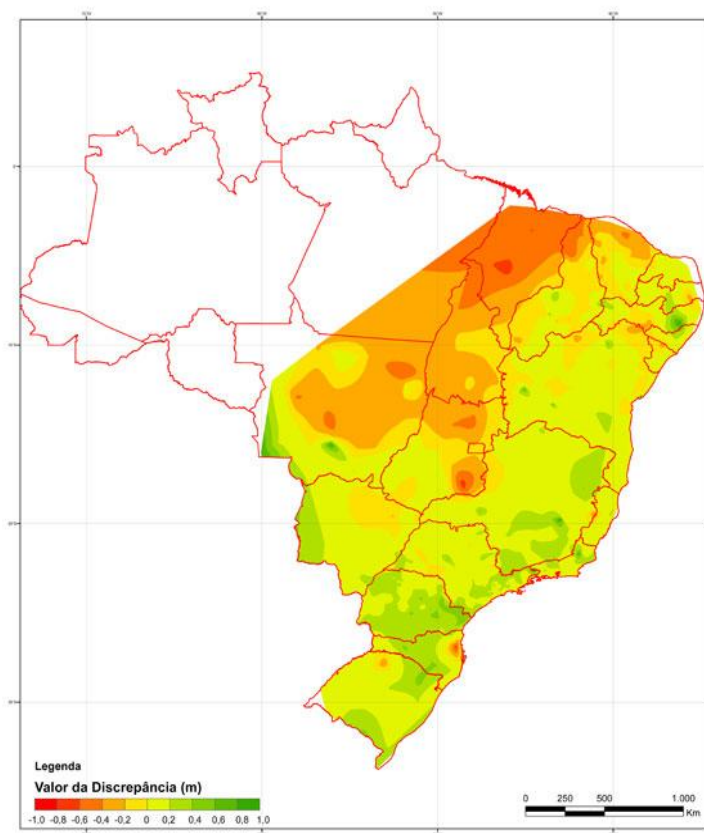


Figura 4.2.4 - Distribuição do Erro Padrão obtido a partir da comparação entre estações GPS e RN's (Fonte IBGE, 2010)

Abaixo segue o Quadro com os valores obtidos:

Quadro 4.2.3: Quadro resumo do 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
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

* ponto de referencia mais próximo do eixo da barragem (cerca de 600 m a jusante, no lado direito da estrada que liga Croatá a SJ Lontras)

4.2.1.2. 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.

A quantidade e a distribuição dos pontos foram 5.

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. O Match-AT é um programa computacional voltada à aerotriangulação automática e assistida.

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

Etapas do processo de aerotriangulação.

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

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).

Cálculo

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 permite definir a localização das áreas de Von Gruber, os pontos de partida são os valores aproximados de X, Y, Z, Omega (ω), Phi (φ) e Kappa (κ);

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 (**Figura 4.2.5**);

Medição dos Pontos de Apoio: realizada a geração dos Tie Points, a leitura dos pontos de apoio suplementar é feita de modo assistida e em estéreo, assegurando a perfeita localização e consistência de cada ponto (**Figura 4.2.6**);

Pós-processamento: nesta fase é realizado o processamento matemático do bloco, descrevendo os residuais dos pontos de enlace (Tie Points), controle (GCP) e verificação (check). É usado o sistema de detecção de erros denominado de “Automatic blunder

detection". A análise do resultado é feita em forma gráfica e numérica, sendo prevista o número de interação necessária até a convergência dos resultados estabelecidos (**Figura 4.2.7**).

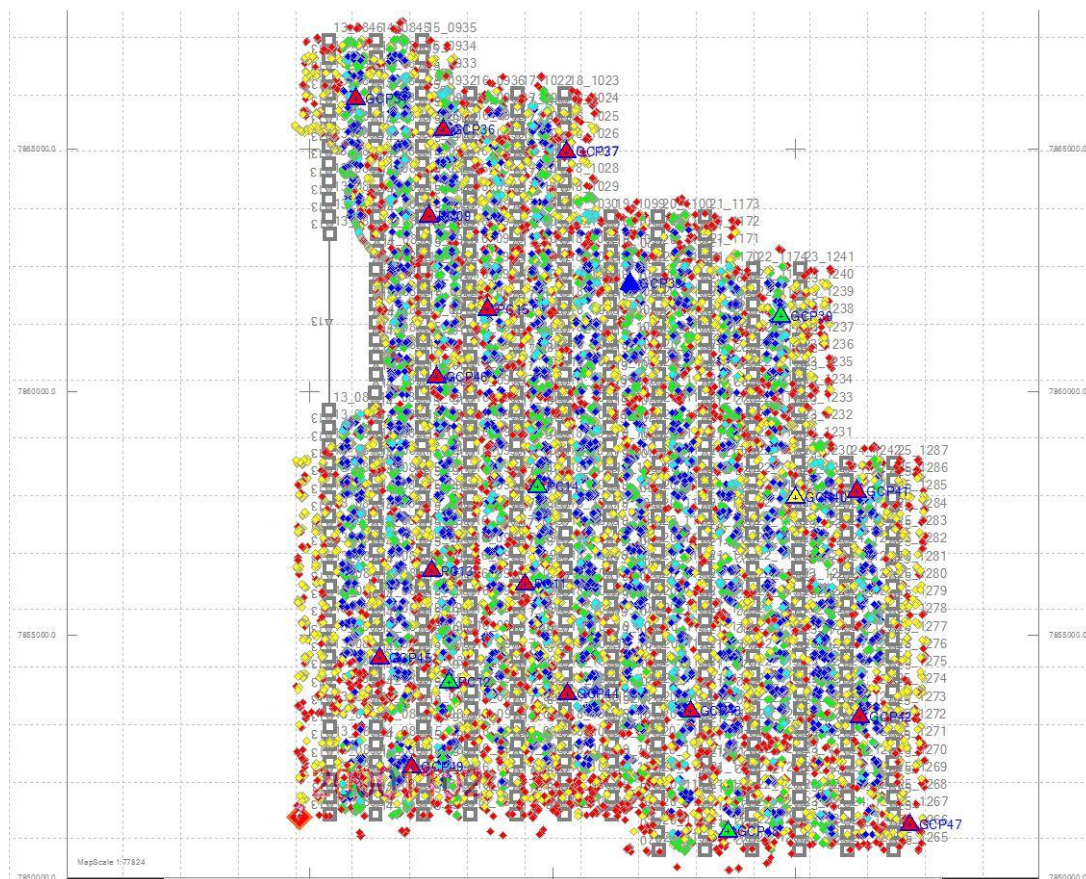


Figura 4.2.5 - Exemplo da distribuição automática dos pontos de enlace gerados no software Match-AT, após o processo de correlação automática.

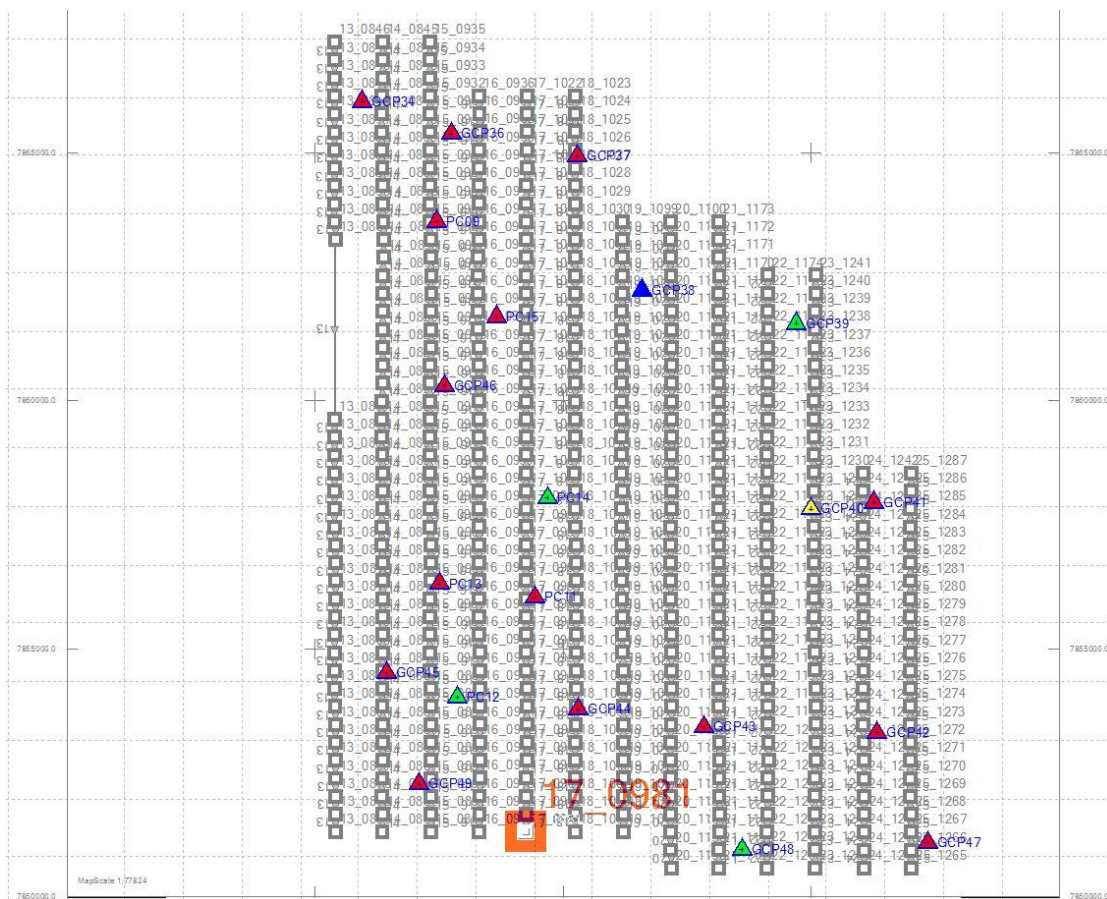


Figura 4.2.6 - Exemplo da distribuição dos pontos de apoio inseridos no bloco de aerotriangulação.

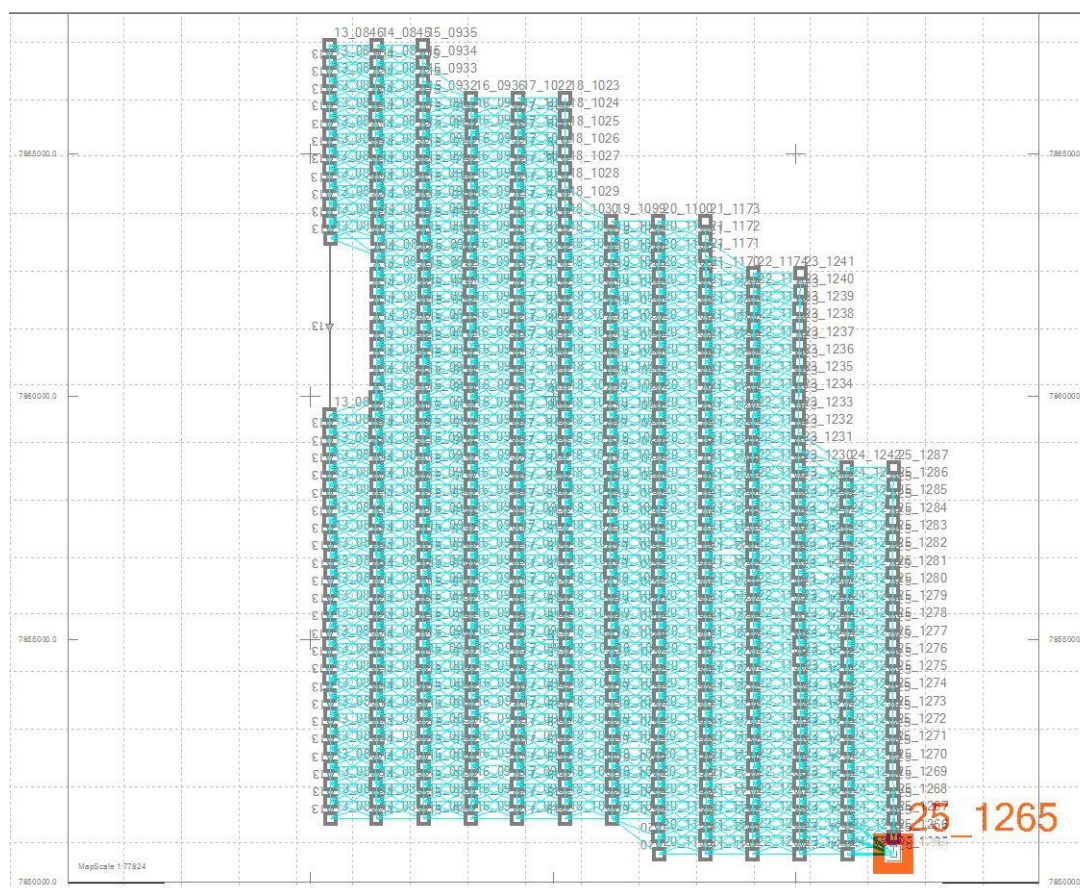


Figura 4.2.7 - Exemplo da análise gráfica da distribuição e amarração dos Tie Points.

Na figura **4.2.7** cada vetor (cor azul) representa a ligação entre os pontos de enlace e suas respectivas leituras nos modelos. Nota-se pelo grande volume de pontos determinados, a alta rigidez e eficiência do modelo matemático de correlação do Match-AT.

Análise da Qualidade da Aerotriangulação e Resultados Obtidos

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.

4.2.1.3 Restituição Digital

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

Para a extração das informações no processo de restituição utilizou-se o software AU4 desenvolvido pela empresa CARTODATA.

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 previstos na proposta técnica.

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 garante 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.

4.2.1.4 Ortorretificação

Para a realização da ortorretificação das fotografias aéreas necessariamente deve haver um MDT (Modelo Digital do Terreno), sem o qual não é possível a correção devido ao relevo. O Modelo Digital de Terreno foi gerado através do Match-T, software da Inpho destinado à elaboração de MDT automático por intermédio de algoritmos de correlação. Suas ferramentas possibilitam a determinação de uma malha densa e precisa de pontos, resultando uma modelagem coerente do terreno.

Após a geração do Modelo Digital de Terreno utilizou-se o software DTMaster para a avaliação e conferência dos resultados. Esse programa é orientado para a edição e verificação de MDT usados na produção de ortofotos. A etapa foi finalizada com a geração do arquivo raster de elevações. Esse arquivo deverá ter uma resolução mínima de três vezes à resolução da imagem que se deseja ortorretificar, sendo obrigatoriamente múltiplo e a cada pixel é associada uma elevação. Na **Figura 4.2.8** é mostrado um arquivo com o Modelo Digital do Terreno, no formato raster (imagem em que cada pixel possui coordenada x,y e z).

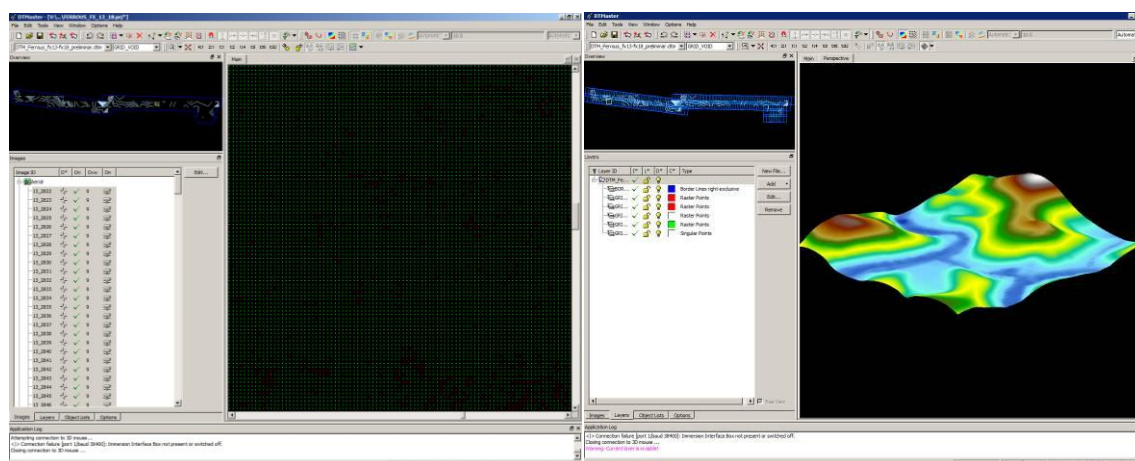


Figura 4.2.8 - Exemplo do ambiente de análise e edição do software DTMaster. A figura da esquerda mostra a distribuição dos pontos gerados no processo de correlação e a da direita o correspondente Modelo Digital de Terreno (MDT).

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 reprojeter 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 foi copiada para a posição do ponto em questão na ortofoto. Caso contrário, uma aproximação foi feita. Os critérios para tal consistiram em uma média entre os pixels vizinhos, utilizando-se de interpoladores. A cor do pixel dada pelo algoritmo adotado foi assumida pelo pixel prospectivo da futura ortofoto digital. A **Figura 4.2.9** mostra diagramaticamente esse processo. A resolução das ortofotos na escala 1: 5.000 foram de 0,15 metros.

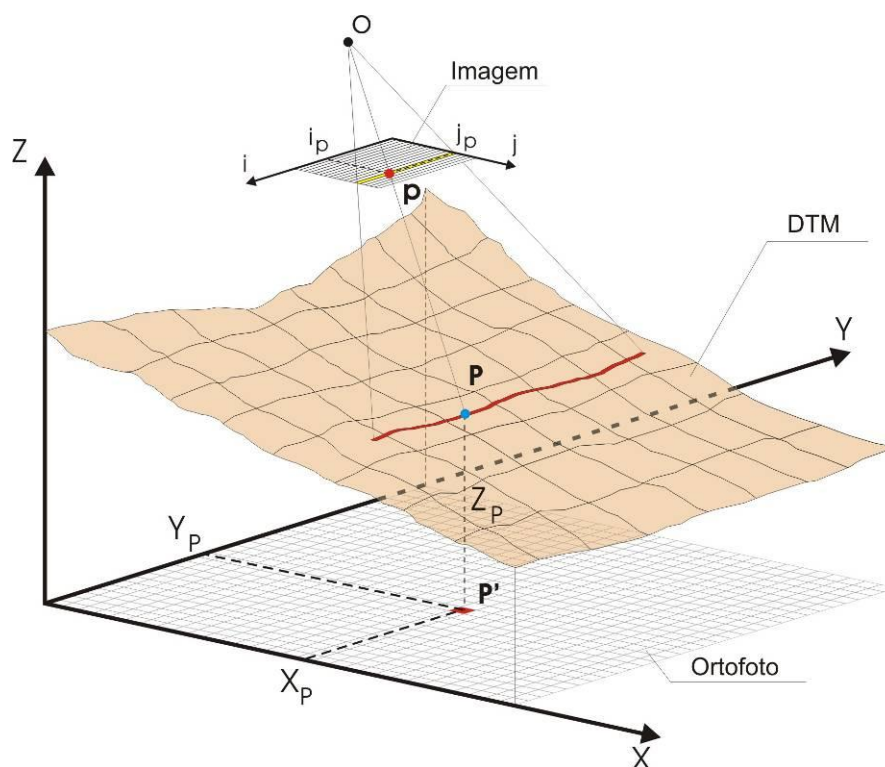


Figura 4.2.9 - Princípio da ortorretificação, Fonte: Adaptado de ANDRADE (1998).

A equação de colinearidade parametrizada é utilizada para obter-se uma solução mais precisa na determinação das coordenadas de foto, as quais, por sua vez, são transformadas para coordenadas de imagem via transformações planas específicas.

O MDT para este projeto, especificamente, foi gerado com resolução espacial de 0,45 metros e como referência cartográfica padronizou-se o SIRGAS 2000.

4.2.1.5 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. Para tal tarefa utilizou-se o software OrthoVista, do fabricante Inpho.

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 são 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 ortoimagens. Terminada a etapa de mosaicagem, 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 e aprovada pela contratante, respeitando sempre um buffer determinado de acordo com a escala de apresentação das ortofotos, neste caso adotou-se 500 metros. A **Figura 4.2.10** mostra o processo de corte das imagens durante a mosaicagem feita no software OrthoVista e a **Figura 4.2.11**, um exemplo de uma imagem contínua após a conclusão da mosaicagem e do processamento da imagem.

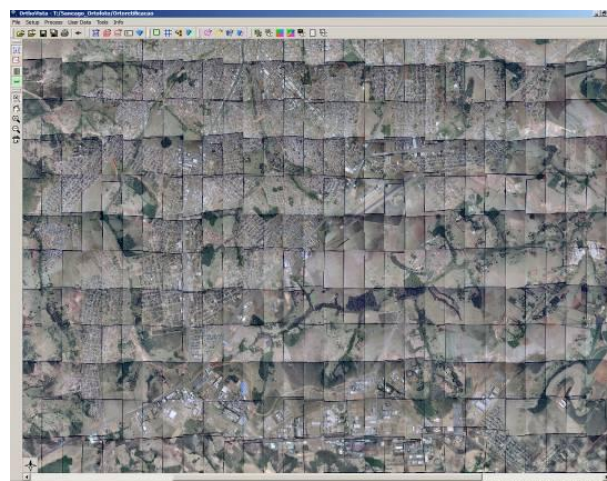
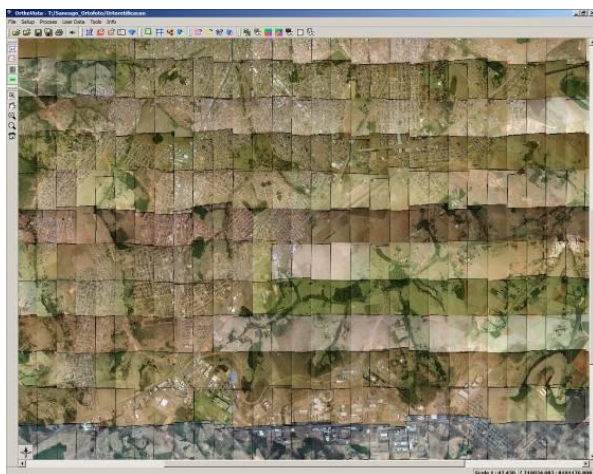


Figura 4.2.10 - Aspecto do software Ortho Vista durante o processo de mosaicagem. A imagem da esquerda ilustra a diferença de cores das imagens originais e a da direita mostra o resultado obtido após a equalização.

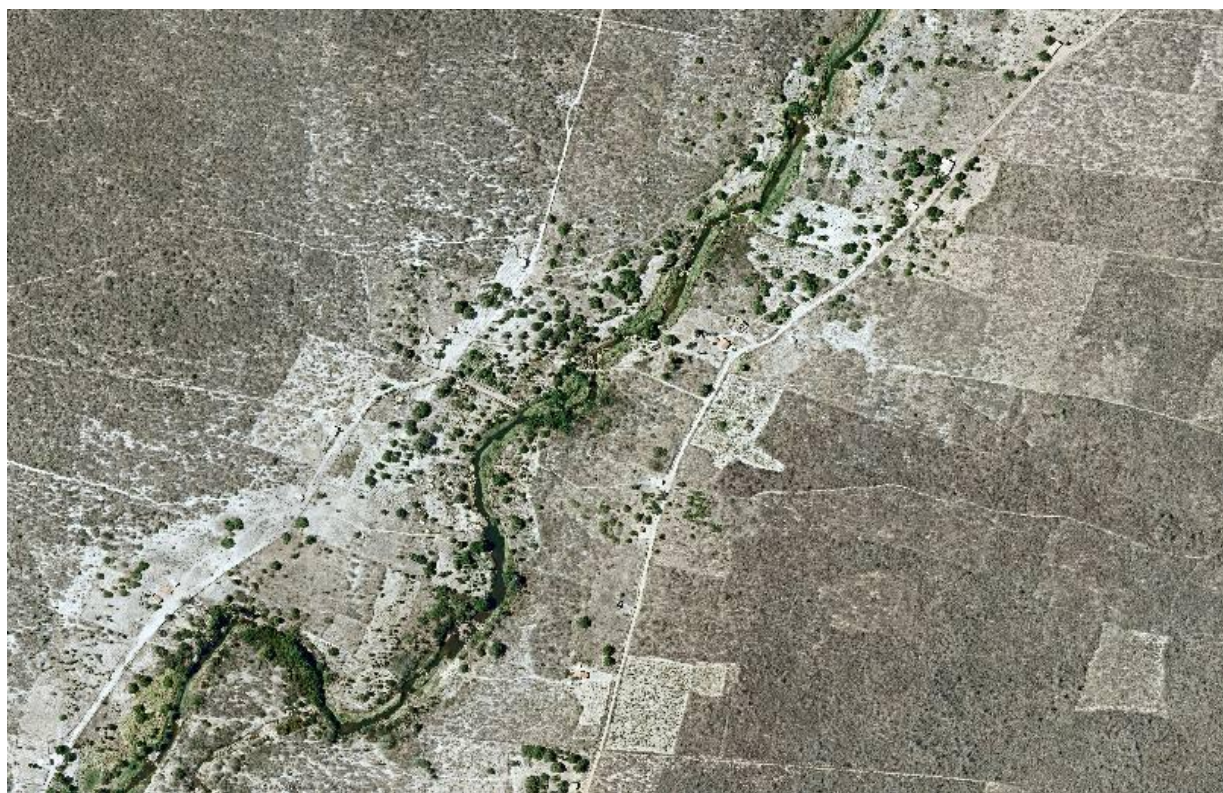


Figura 4.2.11 - Imagem contínua Ortofoto Ibiapaba

4.2.1.6. 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, em concordância as especificações técnicas do projeto.

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

4.2.2 Levantamentos Topográficos

4.2.2.1 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.

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: talwegues, 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 (M-3). O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados e o posicionamento em planta no desenho “Planta de Locação dos Eixos das Obras” do Tomo 2 :

Quadro 4.2.4 - 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

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.

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 200 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.

4.2.2.2 Levantamento do Canal de Restituição

O canal de restituição da Barragem Lontras foi levantado plani-altimetricamente através de processos topográficos convencionais, constando de: locação, nivelamento e levantamento de seções transversais.

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 07+10 do eixo da barragem/sangradouro, foi locada a poligonal do canal de restituição com 1.433,65 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até próximo do rio.

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 150 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.

4.2.2.3 Levantamento de Jazidas

As áreas das ocorrências de materiais 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 J-01, J-02, J-02 A, J-03, J-03 A, J-04, J-04 A, J-05, J-09 e J-10, todas de solo areno argiloso.

Inicialmente locaram-se os poços de sondagem levantados em cada jazida sobre uma planta obtida por imageamento de satélite. Em seguida retiraram-se as distâncias do centro de cada jazida, através das estradas existentes na região ou de possível traçado de caminhos de serviços, até o eixo projetado para a barragem.

O **Quadro 4.2.5**, apresenta a quantidade de furos, a área levantada e a distância de cada jazida, do primeiro furo locado ao eixo barrável. As plantas individuais das jazidas, com a localização dos furos de sondagens locados, são apresentadas no Tomo 2- Desenhos.

Quadro 4.2.5: Estudo das Jazidas

Local	Quantidade de Furos	Área (ha)	Distancia ao eixo (Km)
Jazida J-01	90	21,33	2,06
Jazida J-02	87	20,47	3,60
Jazida J-02 A	30	54,24	4,18
Jazida J-03	49	68,63	0,96
Jazida J-03 A	36	11,71	1,64
Jazida J-04	97	65,58	11,38
Jazida J-04 A	105	67,44	9,15

Local	Quantidade de Furos	Área (ha)	Distancia ao eixo (Km)
Jazida J-05	14	59,68	6,99
Jazida J-09	234	98,55	30,16
Jazida J-08	185	74,76	21,8

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 do leito do rio Jatobá. O **Quadro 4.2.6**, a seguir, apresenta as coordenadas destes poços:

Quadro 4.2.6: Estudo do Areal

Furo	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
AREAL DO RIO JATOBÁ		
01	309.299	9.498.568
02	309.141	9.498.908
03	309.249	9.499.683
04	309.873	9.500.103
05	310.053	9.500.493
06	310.171	9.500.734
07	309.997	9500.908
08	310.072	9.501.102
09	310.106	9501.342
10	309.933	9.501.508
11	309.854	9.501.724
12	309.688	9.501.896
13	309.624	9.502.066
14	309.806	9.502.262
15	309.940	9.502.456
16	310.272	9.502.586
17	310.488	9.502.918
18	310.622	9.503.152
19	310.849	9.503.305
20	310.834	9.503.620
21	310.859	9.503.830

Furo	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
AREAL DO RIO JATOBÁ		
22	310.725	9.504.034
23	310.652	9.504.269
24	310.997	9.504.657
25	310.930	9.504.880
26	311.162	9.505.431
27	311.619	9.506.003
28	311.635	9.506.665
29	311.839	9.507.525
30	312.291	9.508.237

4.2.2.4. Pedreira de Arenito

Foram registrados, através de GPS manual, pontos de referencia na pedreira P-01, situada a cerca de 1,9 km a montante do eixo da barragem, de onde esta prevista a extração de material arenítico necessário para a construção do espaldar jusante e rip-rap da barragem.

A seguir são apresentadas, no **Quadro 4.2.7**, as coordenadas dos referidos pontos:

Quadro 4.2.7 - Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 01

Pontos	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
PEDREIRA 03		
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

Na pedreira P-02, de onde será extraído o material pétreo do tipo Gnaisse e que se situa a cerca de 35,9 km do eixo da barragem, foi registrado um único ponto de referencia, tendo em vista que o local por ter sido explorado para a construção da barragem Jatobá, é de fácil identificação. O material a ser explorado nesta pedreira será destinado a britagem para utilização nas transições de filtro e nas obras de concreto. No **Quadro 4.2.8** são apresentadas as coordenadas do referido ponto:

Quadro 4.2.8 – Levantamento topográfico de ponto na Pedreira 02

Ponto	Coordenadas UTM (m)	
	Este	Norte
PEDREIRA 02		
01	304.703	9.491.143

4.3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

4.3.1 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 4.3.1**). 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.

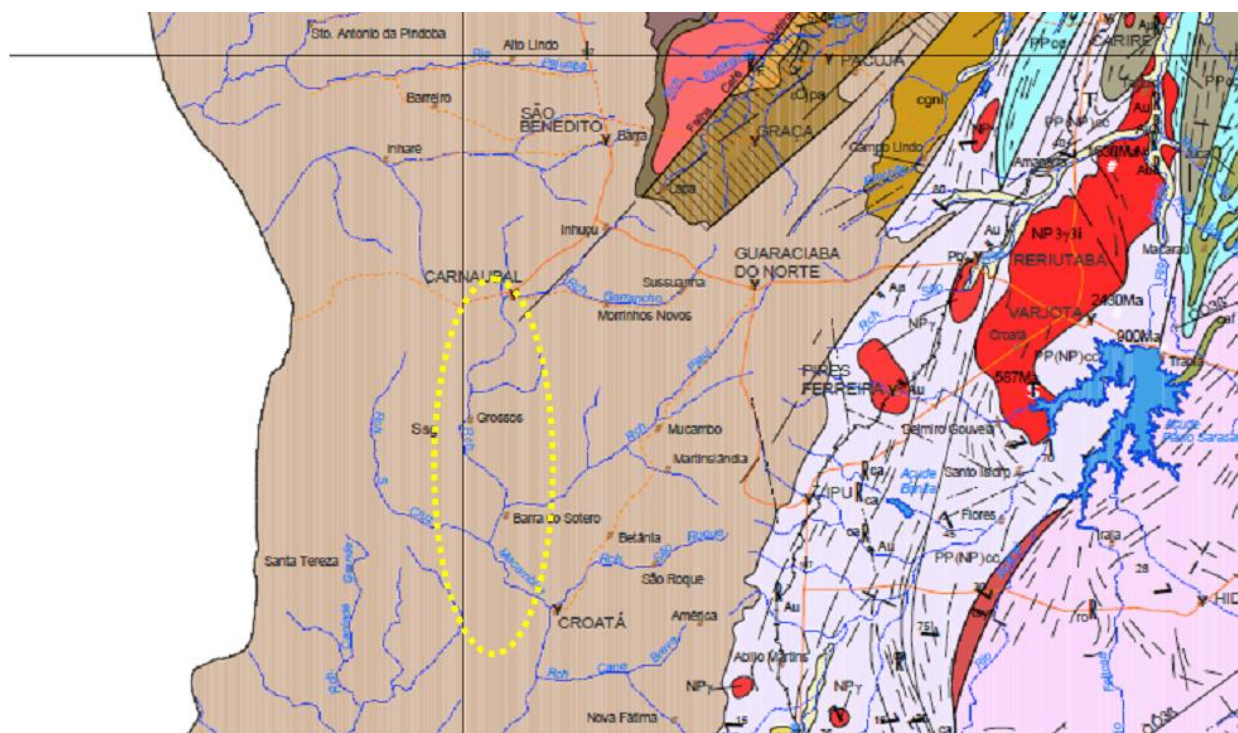


Figura 4.3.1 - Uma extensa fossa tectônica afetou o embasamento cristalino e se refletiu também nos sedimentos devonianos da formação Serra Geral. A área de interesse aos empreendimentos, assinalada pela elipse, foi afetada pelo referido tectonismo (Mapa Geológico do CPRM - 2003).

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.

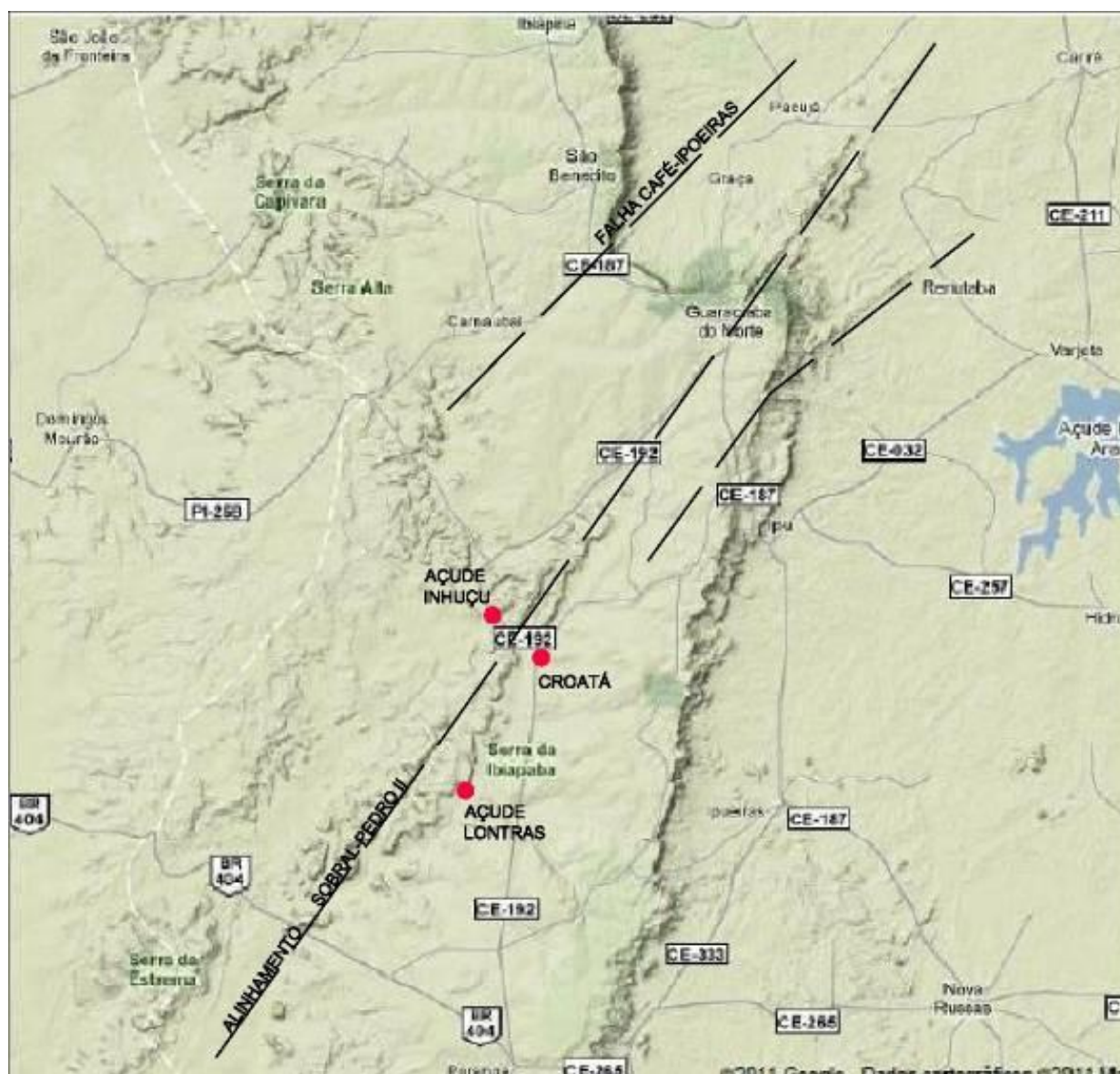


Figura 4.3.2 - Configuração do terreno na região de interesse aos empreendimentos, onde se notam os reflexos do tectonismo nas atuais formas de relevo, mesmo na área com cobertura sedimentar da formação Serra Geral (Mapas Google).

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.

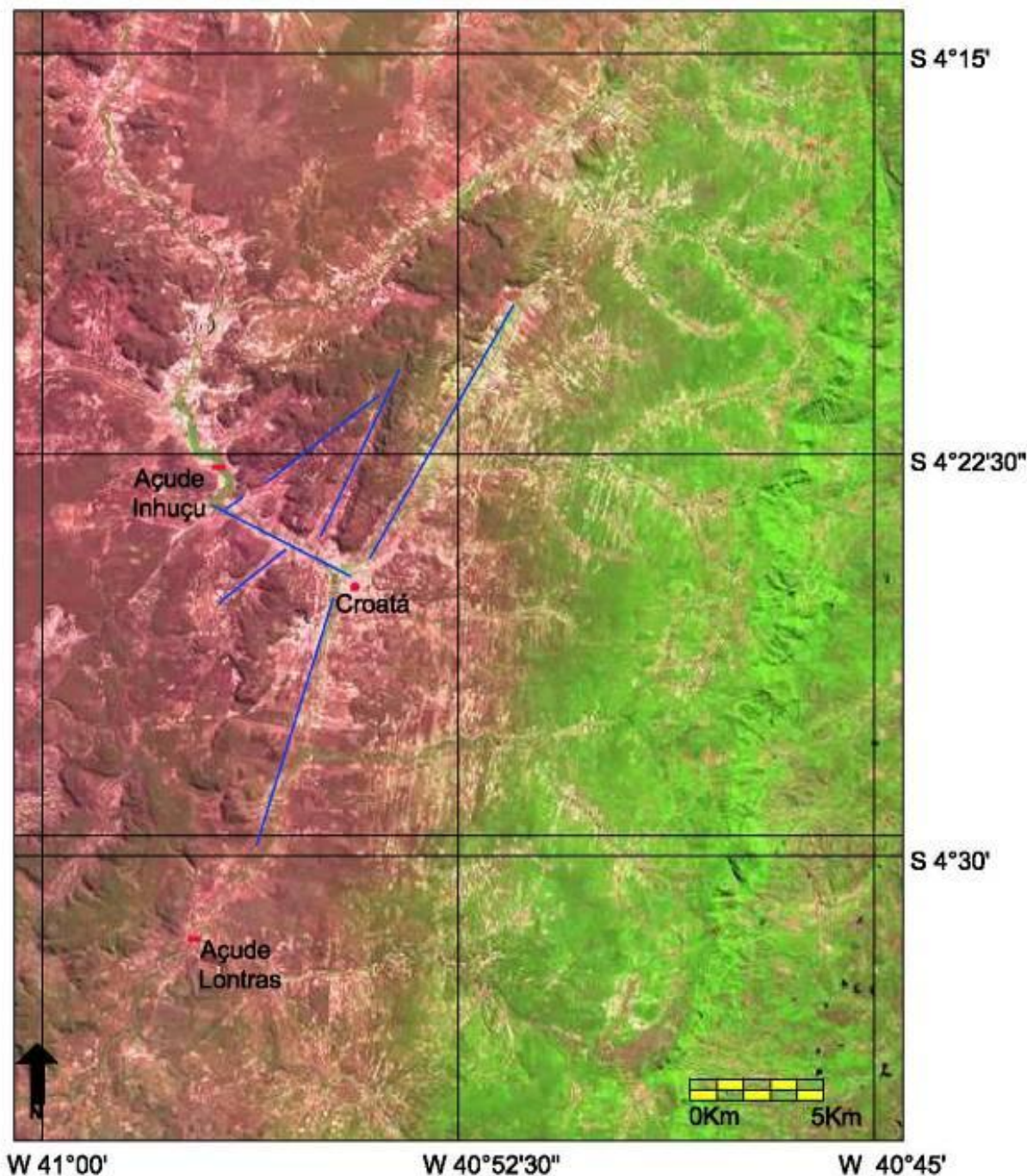


Figura 4.3.3 - Assinalam-se em azul alguns lineamentos importantes, que coincidem provavelmente com extensos planos de falhamento. As sucessivas etapas de tectonismo regional acarretaram deslocamentos relativos entre blocos, tanto verticais, quanto horizontais

4.3.2 Geologia Local

4.3.2.1 Estratigrafia

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 um pouco 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 (30° a 40°), 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.

4.3.2.2 Aspectos fisiográficos do sítio

Ombreira esquerda

A existência de afloramentos rochosos na ombreira esquerda induz a presença de bruscos degraus na topografia, sustentados por camadas de arenito muito coerente, normalmente silicificado, adquirindo o aspecto e características de quartzito. Acúmulos de blocos, das mais variadas dimensões, são observados logo abaixo dos referidos degraus e refletem o processo de evolução e recuo das encostas (**Fotos 4.3.1 e 4.3.2**).



Foto 4.3.1 – Trilha aberta ao longo do eixo de barramento, na ombreira esquerda.



Foto 4.3.2 – Grande quantidade de blocos se acumula, de maneira desordenada, logo abaixo de juma quebra no relevo, motivada pela presença de uma camada de arenito mais coerente (Coord. UTM 9.499.050 N 283.640 E, 24M).

A ombreira esquerda apresenta um aspecto peculiar, com possíveis reflexos significativos no projeto da barragem. A alternância de camadas de arenito coerente com estratos de siltito inconsolidado e incoerente, associada ao discreto mergulho das camadas para o fundo do vale, proporciona o aparecimento de um processo de rastejo. Trata-se de um movimento lento das camadas de arenito, que “flutuam” e se movimentam rumo ao fundo do vale. O processo é acumulativo e é perceptível pelo afastamento entre as placas de arenito, culminando, às vezes, com o basculamento dos blocos (**Foto 4.3.3**).



Foto 4.3.3 – Placas de arenito coerente, levantadas e basculadas por processo generalizado de rastejo.

A cobertura de solos, nesta ombreira, é escassa, ou inexistente. Na porção inferior da encosta, em áreas de menos 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.

Margem esquerda

Próximo à margem esquerda, encontra-se uma área aplainada, recoberta por solos, própria para o plantio. Nesta área foi feita a sondagem SMB-13, que registrou a presença de 3,5 m de solo arenoso, amarelado, provavelmente de origem aluvionar.

Por serem as sondagens pontuais e afastadas entre si, recomendou-se a realização de estudos geofísicos, para averiguar a possível existência de algum paleocanal soterrado.

Leito do rio

O leito do rio é uma área de afloramentos rochosos. O trecho é de baixa declividade e uma pequena seção controle represa as águas, que permanecem empoçadas no local (**Foto 4.3.4**).



Foto 4.3.4 – Vista do rio Inhuçu a partir da margem esquerda. O leito do rio exibe poças, alimentadas por “olhos d’água” que afloram no fundo do leito. De outra forma, o rio estaria seco, porque não há alimentação por montante (Coord. UTM 9.499.320 N 283.200 E, 24M).

No depoimento dos moradores, ocorrem neste trecho do rio surgências de água, que independem da vazão do rio, seco na época da visita, mas estão vinculadas à rede de fluxo subterrâneo ao longo das encostas do vale. Este aspecto é de interesse e deverá ser ulteriormente investigado, em uma futura etapa de trabalho, para melhor entendimento.



Foto 4.3.5 – Este bloco de arenito exibe estratificação cruzada, com mergulho acentuado, cerca de 300 para montante. O acamamento geral, entretanto, é sub-horizontal, como pode ser visto na foto seguinte. A seta é indicativa do fluxo.

Os afloramentos rochosos no leito do rio revelam a atitude sub-horizontal das camadas, mas exibem trechos do maciço em que a estratificação cruzada em arenitos imprime localmente mergulhos mais acentuados, da ordem de 20° a 30° (**Foto 4.3.5**).

Margem direita

Na margem direita, ocorre uma faixa de terreno aplainada, com declividade variável entre 2° e 4°, que se estende entre as estacas E10 e E30, abrangendo os locais das sondagens SMB-12 a SMB-09 e que se alonga no sentido montante-jusante. Aparentemente, os solos locais são de origem diversificada, gerados tanto por processos de coluvionamento recente, quanto por sedimentação fluvial mais antiga. Somam-se a isso os solos provenientes da desintegração das próprias camadas sedimentares que constituem o substrato rochoso.

O caráter aplainado da área poderia acobertar a presença de alguma estrutura de origem erosiva, antiga, hoje soterrada, visto que o rio Inhuçu divagava em toda a largura do fundo do vale. Em função disso, foi recomendada a realização de estudos geofísicos, capazes de tirar as dúvidas a esse respeito. Os resultados constam do item **4.3.4** e mostram que tal suspeita resultou infundada.



Foto 4.3.6 – Medição de nível d'água no furo da SMB-09, na ombreira direita, estaca 12+00, onde foi encontrada a ocorrência de rocha ígnea extrusiva, provavelmente diabásio.

Nas vizinhanças da estaca E12, na aproximação à porção em que a declividade da ombreira direita se acentua, a sondagem SMB-09 identificou uma anomalia geológica, representada por uma massa de rocha ígnea extrusiva, de coloração escura, possivelmente um diabásio (**Foto 4.3.6**). Na superfície do terreno, neste mesmo local, foi observado um bloco de rocha constituído por uma brecha muito coerente, em que fragmentos de arenito silicificado se encontram imersos em uma matriz silicosa, com poros cujas cavidades se encontram preenchidas por cristais de quartzo.

É provável que se esteja na presença de uma estrutura de origem tectônica, possivelmente um dique, intrudida nos sedimentos paleozóicos. O bloco brechóide seria o reflexo de uma manifestação secundária, decorrente da intrusão e sua origem estaria associada a enriquecimento em sílica trazida por soluções hidrotermais. Recomendou-se o emprego de geofísica, para melhor entendimento da estrutura da anomalia, de sua origem, bem como dos possíveis reflexos no projeto das fundações do barramento. Os resultados dos estudos geofísicos constam do item **4.3.4**.

Ombreira direita

A partir da estaca 10, rumo ao alto da ombreira, a declividade do terreno se acentua, passando a situar-se entre 12° e 14° até além do coroamento da barragem, com um estreito trecho aplainado entre as estacas E6 e E8, aproximadamente.

Aqui também, a semelhança de todas as encostas circundantes, horizontes de arenito endurecido sustentam as formas topográficas e introduzem uma sequência de degraus, de altura variável, ao longo do perfil do terreno.

A presença de blocos e matacões se acentua à medida que a topografia se eleva, assim como aumentam suas dimensões (**Foto 4.3.7**). Os afloramentos de rocha são mais frequentes e contínuos. Em um ou outro local, como nas proximidades da sondagem SMB-05 (estaca E8), observa-se uma ligeira inversão na inclinação das camadas, que passam a mergulhar para o interior da ombreira.



Foto 4.3.7 – Ao longo da ombreira direita, saindo da área mais aplainada, que corresponde a um terraço de origem fluvial, depara-se com este trecho, recoberto por seixos e blocos de arenito.

Área do Sangradouro

Na área de implantação do sangradouro, prevalecem os afloramentos contínuos de rocha e a topografia é acidentada, condicionada provavelmente aos principais traços estruturais, como o acamamento, a compartimentação do maciço, além de eventuais feições de origem tectônica.

4.3.2.3 Erodibilidade e assoreamento

Os contextos geológicos regional e local propiciam que a erodibilidade ao longo das encostas que circundam a área do futuro reservatório seja acentuada, em decorrência da própria natureza dos sedimentos paleozóicos, em parte constituídos por frações arenosas finas e siltosas, incoerentes e facilmente carreáveis pela ação da gravidade, ventos, oscilações térmicas e águas pluviais, além da atuação antrópica.

As frações finas, uma vez mobilizadas e arrastadas para o interior do lago, estão sujeitas a transporte e sedimentação diferenciados, em função de sua granulometria, atuando o reservatório como um grande decantador. As dimensões avantajadas do reservatório de

Lontras e a espessa coluna d'água gerada pela barragem, com altura máxima superior a 50 metros, devem minimizar os eventuais problemas decorrentes desses processos, de maneira a assegurar uma vida útil duradoura para o empreendimento.

4.3.2.4 Estanqueidade do reservatório

O reservatório de Lontras é bem confinado ao longo dos vales do rio Inhuçu e não há indícios de possíveis fugas d'água para as bacias adjacentes.

Verifica-se, entretanto que na vertente direita, logo a jusante do eixo, a configuração do relevo se modifica substancialmente, visto que o vale sofre um alargamento. Esta frente desconfinada, situada além do vertedouro, pode servir como área de atração da rede de fluxo do reservatório pela ombreira direita.

Para segurança do projeto deverá ser idealizado um sistema para controle de fluxo d'água sob o muro Creager do sangradouro, a adoção de uma laje no canal de aproximação para aumentar o caminho de possíveis percolações e a impermeabilização do talude no limite direito do sangradouro.

4.3.2.5 Sismicidade

A região noroeste do Ceará é uma das principais áreas sísmicas do Nordeste brasileiro e sua atividade sísmica é conhecida desde o século passado. Esta região possui importantes estruturas tectônicas mapeadas, já referidas no item da geologia regional.

A região é atravessada por uma megasutura, que atuou na formação do supercontinente Gondwana, entre o final do Proterozóico e o início do Paleozóico, denominada Megalineamento Transbrasiliano. Este alinhamento se estende do litoral do Ceará, através da bacia do Parnaíba e da Província Tocantins, até o Norte do Paraguai. As marcas deste alinhamento, que se desenvolve segundo NE-SW, afetam o relevo continental e podem ser percebidas no controle estrutural das escarpas abruptas e retilíneas das serras da Meruoca e do Rosário, no noroeste cearense.

Um significativo número de eventos sísmicos ocorreram no noroeste do Ceará (**Figura 4.3.4**). Esses eventos se encontram relacionados no **Quadro 4.3.1** (Fonte: Oliveira, P.H.S. – 2010 – Ref. 3).

Quadro 4.3.1 - Principais sismos de magnitude $\geq 3,0$ ocorridos no nordeste do Ceará

LOCALIDADE	ANO	MAGNITUDE (m_b)	FONTE
Granja	1942	3,0	RBGf
São Luis do Curú	1974	3,3	RBGf
Itapajé	1987	3,0	RBGf
Groaíras	1988	3,9 e 4,1	RBGf
Frecheirinha	1989	3,2	RBGf
Irauçuba	1991	4,8	RBGf
Groaíras	1995	3,4	RBGf
Frecheirinha	1997	3,2	RBGf
Senador Sá	1997	3,0 e 3,2	RBGf
Sobral	2008	3,1; 3,7; 3,9 e 4,2	RBGf

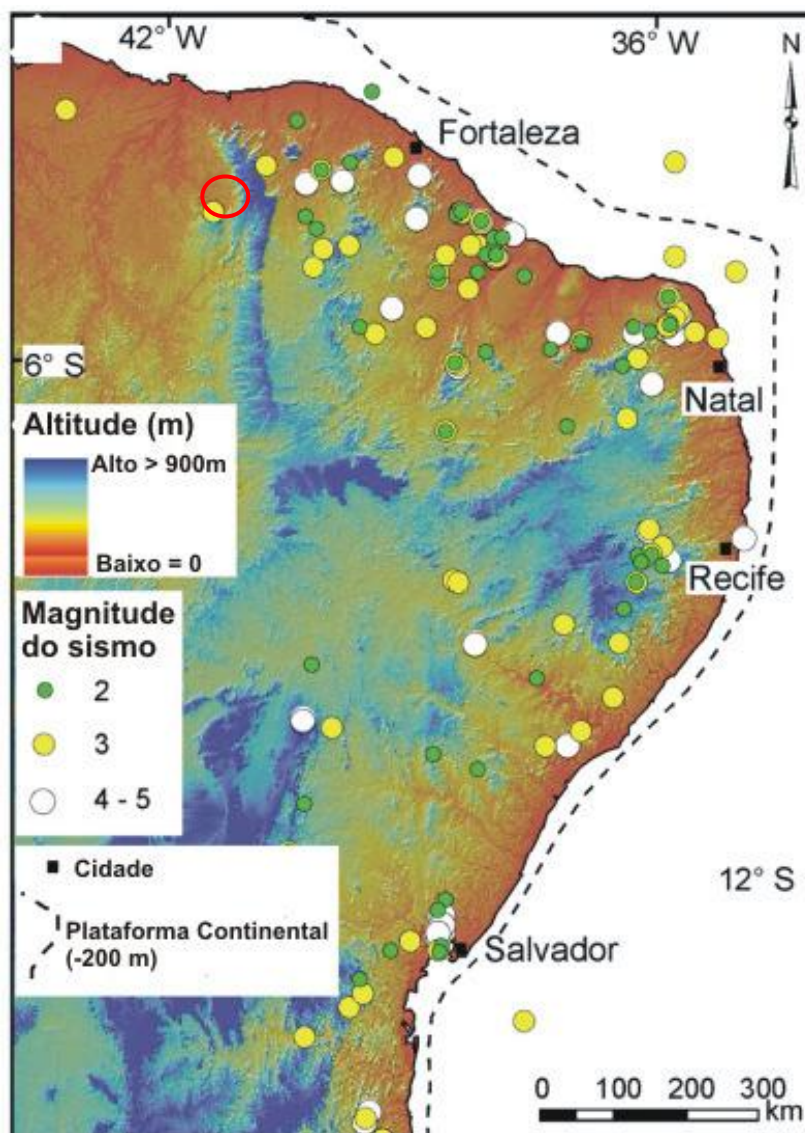


Figura 4.3.4 - Mapa da distribuição de eventos sísmicos no Nordeste do Brasil (Fonte: Oliveira, P.H.S. – 2010). O círculo vermelho assinala a área de localização dos empreendimentos.

Apesar da proximidade com as megaestruturas referidas, a sismicidade no noroeste do Ceará não foi correlacionada diretamente ao Lineamento Sobral-Pedro II, ou à falha Café-Ipueiras. Para se estabelecer uma correlação confiável entre atividade sísmica e as estruturas geológicas, seria necessário dispor de um conjunto mais abrangente de dados sismológicos, geológicos e geofísicos.

Mesmo assim, a sismicidade regional está longe de poder ser tida como desprezível, tendo sido levada em consideração, em função de sua magnitude histórica, no estudo da barragem Lontras.

4.3.3 Campanhas de investigações

4.3.3.1 Campanha de sondagens

Foram utilizadas no campo as seguintes formas de investigação:

- sondagens a trado;
- sondagens a percussão;
- sondagens mistas (iniciadas a percussão e prosseguidas por rotativa);
- ensaios de infiltração em solo;
- ensaios de perda d'água sob pressão, em rocha.

A campanha de investigações de subsuperfície, no sítio de barramento, consistiu na execução de 27 sondagens rotativas e/ou mistas, numeradas de SMB-01 a SMB-25. Coube às empresas TECNORD e STS a realização dos trabalhos. Para tanto, o lote de sondagens foi subdividido em dois. À STS coube a execução de 13 sondagens (**Quadro 4.3.2**) e à TECNORD 14 sondagens (**Quadro 4.3.3**).

Quadro 4.3.2 – Relação de sondagens executadas pela STS

SONDAGENS MISTAS E/OU ROTATIVAS	ENSAIOS DE PERMEABILIDADE	ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA
SMB-01 (Est. 54 - Eixo)	-	-
SMB-02 (Est. 57 - Eixo)	-	-
SMB-03 (Est. 31 + 15,00 - Eixo)	1	9
SMB-06 (31 + 15,00 à 100m Jusante)	1	9
SMB-09 (Est. 12 - Eixo)	-	-
SMB-10 (Est. -2 - Eixo)	-	8
SMB-11 (Est. 20 - Eixo)	-	-
SMB-12 (Est. 26 - Eixo)	-	6
SMB-13 (Est. 35 - Eixo)	1	7
SMB-14 (Est. 40 - Eixo)	-	6
SMB-15 (Est. 43 - Eixo)	-	6
SMB-16 (Est. 49 - Eixo)	-	6
SMB-18 (Est. -2 a 50m Jusante)	-	-

Quadro 4.3.3 – Relação de sondagens executadas pela TECNORD

Local	Sondagem	Estaca	Coordenadas		Cota (m)	Prof. (m)	Início	Final
			Norte	Este				
Eixo da barragem	SMB-01	54+0,0 (eixo)	9.499.104	283.564	511,11	26,1	08-12-11	15-12-11
	SMB-02	57+0,0 (eixo)	9.499.066	283.611	521,87	30,00	23-10-11	03-12-11
	SMB-04	32+0,0(70m mont)	9.499.416	283.239	483,00	30,0	30-03-12	17-04-12
	SMB-05	8+0,0 (eixo)	9.499.591	282.786	518,11	20,0	21-04-12	25-04-12
	SMB-07	2+0,0 (eixo)	9.499.647	282.684	534,47	15,00	30-04-12	03-05-12
	SMB-21	2+0,0 (50m jus)	9.499.606	282.657	528,44	10,0	04-05-12	05-05-12
	SMB-23	12+0,0 (60m jus)	9.499.499	282.827	504,97	12,3	12-12-12	15-12-12
	SMB-24	16+0,0 (eixo)	9.499.512	282.926	499,94	18,1	24-11-12	29-11-12
Sangradouro	SMB-08	00+0,0 (eixo)	9.499.669	282.647	542,89	20,0	08-05-12	19-05-12
	SMB-17	00+0,0 (150m jus)	9.499.534	282.581	519,80	25,0	23-05-12	26-05-12
	SMB-19	00+0,0 (70m jus)	9.499.730	282.681	552,18	20,0	08-05-12	22-05-12
	SMB-20	00+0,0 (50m jus)	9.499.625	282.622	534,76	15,1	03-05-12	07-05-12
	SMB-22	00+0,0 (90m jus)	9.499.590	282.603	526,86	10,0	30-04-12	02-05-12
	SMB-25	00+0,0 (280m jus)	9.499.425	282.509	514,01	12,3	03-12-12	08-12-12

Observe-se que as sondagens SMB-01 e SMB-02 foram executadas pelas duas empresas, embora com profundidades diversas. De um modo geral, as sondagens foram de boa qualidade, por ambas as empresas. A forma de apresentação dos perfis individuais não é a mesma pelas duas empresas, mas contém, de qualquer maneira, as informações solicitadas.

As sondagens a percussão foram feitas segundo os procedimentos recomendados nas normas brasileiras da ABNT, seguindo as orientações da NBR 6484 – Execução de Sondagens de Simples Reconhecimento do Solo.

Nos trechos de sondagem a percussão foram usados dois processos para avanço do furo. Inicialmente foi empregado o trado concha de 4". Ao encontrar-se o nível d'água, ou material impenetrável à ferramenta, o furo foi revestido e prosseguido por lavagem. Para extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 1 3/8", de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65 kg, com altura de queda de 75 cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar cada 15 cm no terreno, até uma penetração total de 45 cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15 cm, ou seja, dos 30 cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de "Standard Penetration Test (SPT)".

Nos locais onde a camada resistente, ou rocha, ocorre muito próxima da superfície, a sondagem foi executada a trado até o impenetrável, tendo sido deslocada duas vezes de forma triangular, a uma distância de aproximadamente 3,0 m do primeiro furo, para confirmação da profundidade. Nestes casos, o furo recebeu a nomenclatura ST, com a mesma numeração, sendo que, nos furos subsequentes, a numeração foi acrescida das letras "A" e "B" (no quadro resumo foram apresentados os furos com maior profundidade). Nos locais onde a rocha aflorava não foi possível a execução da sondagem a percussão prevista na programação (esta situação está indicada no quadro resumo como "Aflor.").

Nos trechos de sondagem rotativa utilizou-se uma perfuratriz hidráulica, marca MAQUESONDA, modelo MACH-850. Por decisão do contratante, via de regra, a perfuração foi iniciada utilizando-se um barrilete duplo móvel, diâmetro HWM e coroas impregnadas e ou microcravadas com caixa de mola HWM (diâmetro externo 98,8 mm). Em alguns furos de sondagem, nos trechos onde a qualidade da rocha era inferior, e ao ser encontrada rocha de melhor qualidade, o diâmetro da sondagem foi reduzido, utilizando-se um barrilete diâmetro NWM e coroas impregnadas com caixa de mola NWM (diâmetro externo 75,31mm).

4.3.4 Campanha de estudos geofísicos

Durante a fase investigativa foi levada a termo uma campanha de investigações por geofísica no sítio de barramento, utilizando os métodos de imageamento geolétrico e sísmica de refração. Essas técnicas foram escolhidas para investigar a subsuperfície ao longo de perfis, 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/zonas de alteração. O **Quadro 4.3.4** apresenta a extensão das seções efetuadas.

Quadro 4.3.4 – Seções geolétricas e sísmicas executadas

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

4.3.4.1. Imageamento Geolétrico

O imageamento geolétrico possibilitou a investigação do interior dos maciços terrosos/rochosos e evidenciou significativos contrastes de resistividade elétrica, permitindo o mapeamento até profundidades da ordem de 40 metros.

Na área da barragem da margem direita, foram selecionadas e materializadas no campo três seções, a mais extensa coincidindo com o eixo de barramento e as outras duas, mais curtas, paralelas ao eixo e afastadas do mesmo uma centena de metros, uma a montante, outra a jusante. Uma quarta seção foi feita ao longo do eixo do vertedouro, na ombreira direita. De forma geral, as quatro seções geolétricas investigadas apresentaram um comportamento geolétrico bastante semelhante, com intensos contrastes de resistividade.

Os resultados das seções geolétricas foram correlacionados aos perfis de cinco sondagens mecânicas feitas anteriormente ao longo do eixo da barragem, tendo-se concluído que as variações geolétricas registradas foram devidas a outros fatores que não a composição litológica da matriz rochosa.

Na ombreira direita, entre as estacas E7 e E14, registrou-se o predomínio absoluto de materiais de baixa resistividade, desde a superfície até a profundidade máxima de investigação. No local da SM-09, executada na estaca E12, foram registrados os menores valores de resistividade de toda a seção, sempre inferiores a 50 Ohm.m. Com base no fato que as seções de imageamento geolétrico paralelas, realizadas a montante e jusante, também registraram valores da mesma ordem de grandeza, o relatório dos estudos geofísicos (Tomo 4 do Volume 1- Estudos Básicos)) concluiu pela existência de um grande lineamento geológico de falhamento na área.

4.3.4.2. Sísmica de Refração

Foram determinadas as velocidades de propagação de ondas sísmicas ao longo das mesmas seções usadas no imageamento geolétrico. A partir da análise de todas as seções, verificou-se que um modelo composto por três camadas sísmicas (V1, V2 e V3) ajustou melhor os dados observados para todas as seções, com exceção da seção paralela a jusante do barramento, onde o modelo composto por duas camadas sísmicas (V1 e V2) ofereceu o melhor ajuste. Em síntese, as camadas sísmicas foram assim caracterizadas:

- camada superficial V1 (intervalo de velocidade entre 0,5 e 1,2 km/s), tipicamente constituída por solos superficiais pouco compactos a compactos, também identificados como de primeira categoria, escaváveis por meios mecânicos,
- camada intermediária V2 (intervalo de velocidade entre 1,4 e 2,2 km/s), correspondendo a material rochoso com elevado grau de alteração/faturamento, considerado de primeira categoria/escarificável,
- camada de alta velocidade V3 (velocidade entre 2,5 e 5,0 km/s), formada por material rochoso são, de terceira categoria, somente escavável a fogo.

4.3.4.3 Considerações finais sobre os estudos geofísicos

O emprego conjugado das técnicas de eletrorresistividade e sísmica de refração levou à identificação de algumas estruturas geológicas de interesse, a saber:

a) confirmou-se a presença de um lineamento geológico de falhamento na ombreira direita, na área em que foi realizada a sondagem SM-09, provavelmente associado à presença de um dique de rocha básica, subvertical, intrudido nas camadas de arenito, de relevante continuidade no sentido montante-jusante. Seja qual for sua verdadeira natureza, esta anomalia geológica deve ser incorporada ao projeto e as condições de apoio da seção da barragem e de tratamento da fundação devem ser objeto de cuidados especiais.

b) na seção sísmica a jusante do barramento foi observado o forte espessamento da camada superficial V1 (velocidade de 0,5 a 1,0 km/s), alcançando, entre as estacas E5 e E7, espessura da ordem de 20 m. Segundo o relatório, tal comportamento sugere que pode ser devido a um paleocanal. Posteriormente foi investigada esta região através de uma sondagem rotativa que apresentou uma profundidade de solo até 8,25 e, a partir daí, uma rocha ígnea são a pouco alterada.

c) na área do vertedouro, ao longo do eixo do rápido, foi verificada uma elevação do material de velocidade V3 na estaca E14, sendo considerado o trecho entre as estacas E13 e E15

como o mais indicado para alojar uma bacia de dissipação, uma vez que exigirá menos escavação para atingir a rocha sã.

Essas indicações a respeito da natureza do subsolo foram obtidas por métodos de prospecção indiretos e carecem de confirmação por técnicas diretas (sondagens, trincheiras, poços).

Quanto à utilização da geofísica na definição dos horizontes passíveis de escavação por meios mecânicos, com ou sem o auxílio de escarificador, os resultados obtidos não são condizentes com as observações feitas através da análise das sondagens rotativas.

Verificam-se discrepâncias entre os dois processos de avaliação (direto e indireto), sendo que a espessura dos horizontes escaváveis (com ou sem escarificação) apontada pelos métodos geofísicos resulta invariavelmente superior àquela indicada pelas sondagens mecânicas.

Diante das discrepâncias observadas na questão escavabilidade, foram definidos dos limites por meios mecânicos seja feita com base nas observações diretas nos testemunhos das sondagens. De outra forma, corre-se o risco de fornecer um quadro excessivamente otimista a respeito do alcance das escavações por meios mecânicos, o que pode resultar em diferenças consideráveis, durante a construção das obras.

4.3.5 Aspectos geológicos e geotécnicos da área da barragem

4.3.5.1 Solos de cobertura

Numa região em que ocorrem exclusivamente rochas sedimentares brandas, de constituição areno-siltosa, os sedimentos aluvionares recentes apresentam a mesma composição granulométrica do substrato rochoso e são de difícil identificação e distinção, em relação aos solos residuais e coluvionares.

No caso dos solos de origem aluvionar recente, uma vez ultrapassado o delgado horizonte superficial enriquecido por matéria orgânica e restos vegetais, somente a presença de seixos arredondados (cascalho) ou de estruturas de sedimentação, irá permitir sua identificação.

Os solos coluvionares, possuindo a mesma origem das demais frações, somente podem ser identificados quando são portadores de coloração secundária, ou se contém concreções e nódulos de frações granulométricas maiores, ou se existe alguma linha de seixos basal, assinalando seu contato inferior com o material "in situ".

Os solos residuais, maduros ou jovens, essencialmente areno-siltosos, são descontínuos e apresentam espessura variável, centimétrica a métrica, confundindo-se facilmente com os

solos de outras origens (coluviais e aluviais). Em comum, existe o fato que podem ser escavados com facilidade.

Na área da barragem, o conjunto de solos de capeamento alcança espessuras não superiores a dois a três metros, com exceção da área em torno da sondagem SMB-09, onde o horizonte de solos alcançou a dezena de metros. Nesta mesma área, o levantamento geofísico por sísmica de refração, feito na seção a jusante do eixo mostrou que, em um trecho compreendido entre as estacas E12 e E15 da barragem, aproximadamente 5 e 8 da linha de geofísica, o horizonte superficial de solos alcança 20 metros, sugerindo a possível existência de uma antiga depressão soterrada (**Figura 4.3.5**).

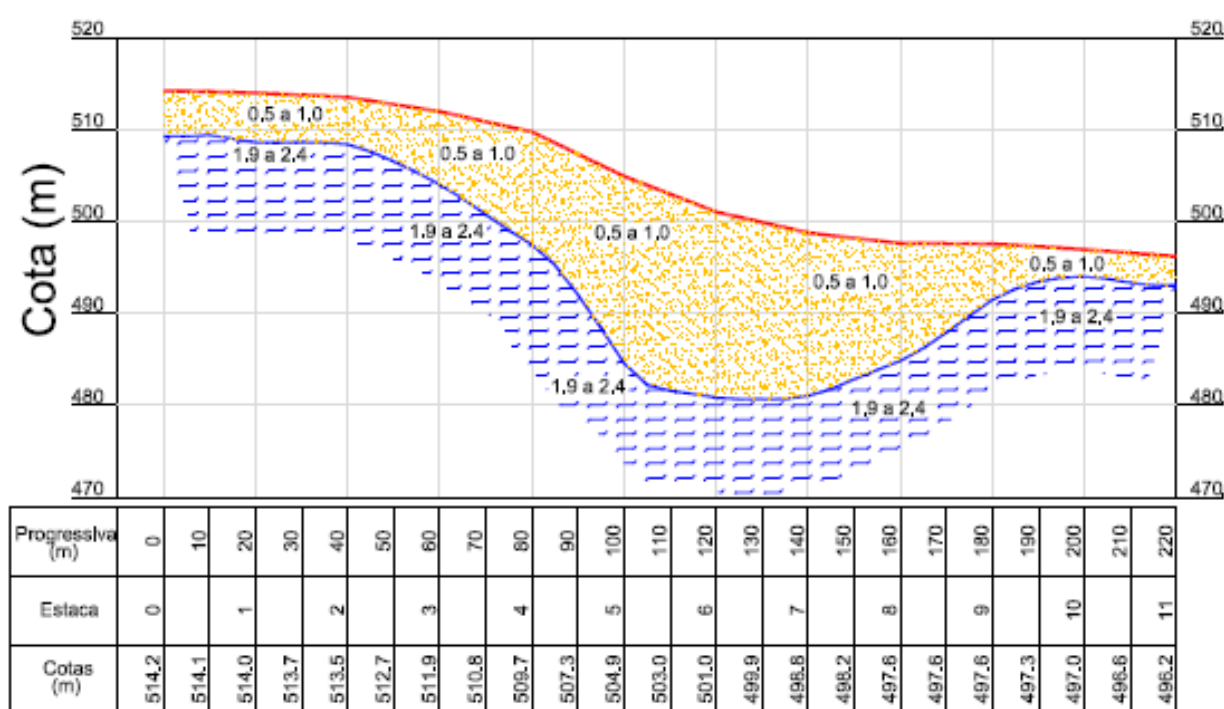


Figura 4.3.5 – Seção sísmica a jusante do eixo da barragem. Entre as estacas 5 e 8 (correspondendo a estacas 12 a 15 do eixo da barragem) a camada V1, com velocidades entre 0,5 e 1,0 km/s, alcança relevante espessura, de até 20 metros em alguns trechos.

Esta depressão sinalizada pela sísmica foi investigada pela sondagem SM-23 (estaca 12) para averiguar se corresponderia a alguma feição erosiva antiga, que tenha sido soterrada. A sondagem constatou uma profundidade de 8,25 m de solos arenosos e a partir desta a presença de rocha diabásica pouco alterada e sã.

4.3.5.2 Características do maciço rochoso

a) Critérios de classificação

Para classificação de rochas sedimentares, prioriza-se o uso do termo “coerência”, que traduz o comportamento do material rochoso ao impacto do martelo (tenacidade), risco por lâmina de aço (dureza) e desbastamento das bordas com a pressão dos dedos (friabilidade). O **Quadro 4.3.5** descreve o procedimento para caracterização do grau de coerência de rochas.

Quadro 4.3.5 – Classificação de rochas sedimentares quanto a sua coerência

DENOMINAÇÃO	CLASSE	CARACTERÍSTICAS
Coerente	C1	Quebra com dificuldade ao golpe do martelo, produzindo poucos fragmentos de bordas cortantes. Superfície dificilmente riscável por lâmina de aço
Medianamente coerente	C2	Quebra com relativa facilidade ao golpe do martelo, produzindo fragmentos com bordas quebradiças por pressão dos dedos. Superfície riscável por lâmina de aço, deixando sulcos leves.
Pouco coerente	C3	Quebra com muita facilidade ao golpe do martelo (esfarela), produzindo fragmentos que podem ser partidos manualmente. Superfície facilmente riscável por lâmina de aço, deixando sulcos profundos.
Friável	C4	Quebra facilmente com pressão dos dedos, desagregando-se. Pode ser cortada com lâmina de aço.

Nota - Abaixo de C4, entra-se nitidamente no campo da mecânica dos solos.

A título de exemplo, as **Fotos 4.3.8 e 4.3.9** retratam testemunhos de uma mesma sondagem em arenitos, em que se utilizou a ponta do martelo para um teste de dureza (resistência ao risco), evidenciando graus de coerência diversos, C2 e C3.



Foto 4.3.8 - Arenito medianamente coerente (C2). O risco da ponta do martelo produz um sulco leve.



Foto 4.3.9 - Arenito pouco coerente (C3). O risco da ponta do martelo produz um sulco profundo.

Não existe uma correlação direta entre a coerência e a resistência de uma rocha, devendo essa ser estabelecida em cada caso. No **Quadro 4.3.6** é apresentada uma classificação das rochas sedimentares quanto a sua resistência. No quadro é dada ênfase ao campo das rochas sedimentares de baixa resistência.

Quadro 4.3.6 - Classificação das rochas quanto à resistência

DENOMINAÇÃO (ROCHA/RESISTÊNCIA)	CLASSE	QUANTIFICAÇÃO Σ_c (MPa)
Muito resistente/muito alta	R1	>100
Resistente/alta	R2	50 - 100
Medianamente resistente/média	R3	20 - 50
Branda/baixa	R4	5 - 20
Muito branda/muito baixa	R5	2 - 5
Extremamente branda/extremamente baixa	R6	0,5 a 2

Nota - Abaixo de R6, entra-se nitidamente no campo da mecânica dos solos.

b) Características de coerência

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.

Já, a presença de níveis de rocha muito fraturada e/ou em fragmentos (F4/F5) se deve, basicamente, a esforços mecânicos oriundos de fatores externos, quais:

- a formação de juntas de alívio, decorrentes do desconfinamento das camadas superficiais pela evolução das formas de relevo. É o caso, por exemplo, da sondagem SMB-04, que aparenta ter uma junta de alívio na profundidade de 10,79 a 11,00 m (**Foto 4.3.10**). Neste caso, o faturamento se diferencia pela intensidade e pelo aspecto discoide dos fragmentos. As juntas de alívio são uma contingência em todos os maciços rochosos, mesmo nos sedimentares e ocorrem paralelamente à superfície do terreno, acompanhando as formas de relevo. Sua intensidade diminui com a profundidade, até não serem mais perceptíveis.



Foto 4.3.10 – Trecho da sondagem SMB-04, com foco de 10,79 a 11,00 m, onde aparenta existir uma junta de alívio, caracterizada pelo aspecto discoide dos fragmentos rochosos.

- O tectonismo regional, que atinge porções localizadas do maciço rochoso, fragmentando e moendo o material, em coincidência a caixas de falha. No sítio da barragem de Lontras, um plano de falha, de grande continuidade, parece estar presente no fundo do vale, sendo responsável pelo entalhe do curso do rio. A origem do intenso faturamento da mesma sondagem, a SMB-04, no trecho de 12,40 m a 25,60 m (final do furo), pode ser consequência da intercepção dessa caixa de falha (**Foto 4.3.11**).



Foto 4.3.11 – A SMB-04 exibe, entre 12,40 e 25,60 m (final do furo), um fraturamento muito intenso, que pode ser atribuído a tectonismo, visto que a sondagem se localiza no fundo do vale, em possível área de interferência de um importante falhamento geológico.

Além da SMB-04, já referida, a sondagem SMB-09, situada na ombreira direita do barramento, evidenciou um grau de fraturamento dos testemunhos extremamente intenso, com recuperação global muito baixa (<25%). Os fragmentos de material recuperado foram descritos, no perfil individual da SMB-09, como sendo de “rocha escura”. Trata-se, ao que tudo indica, de uma rocha ígnea extrusiva (possivelmente diabásio) na forma de um dique, intrudido nos sedimentos, o que foi considerado no projeto.

De um modo geral, o quadro geológico exposto pelas sondagens é bastante repetitivo, visto que, praticamente, todas as sondagens exibem níveis de coerência baixa ou nula, em trechos com extensões variáveis.

Em geral, os trechos pouco coerentes ou incoerentes apresentam espessuras que variam entre poucas dezenas de centímetros até diversos metros. A título de exemplo, reproduz-se abaixo (**Foto 4.3.12**) um tramo da SMB-01 (caixas 5 e 6), onde se observam dois trechos de material C4/C5, intercalados a trechos de rocha mais coerente.

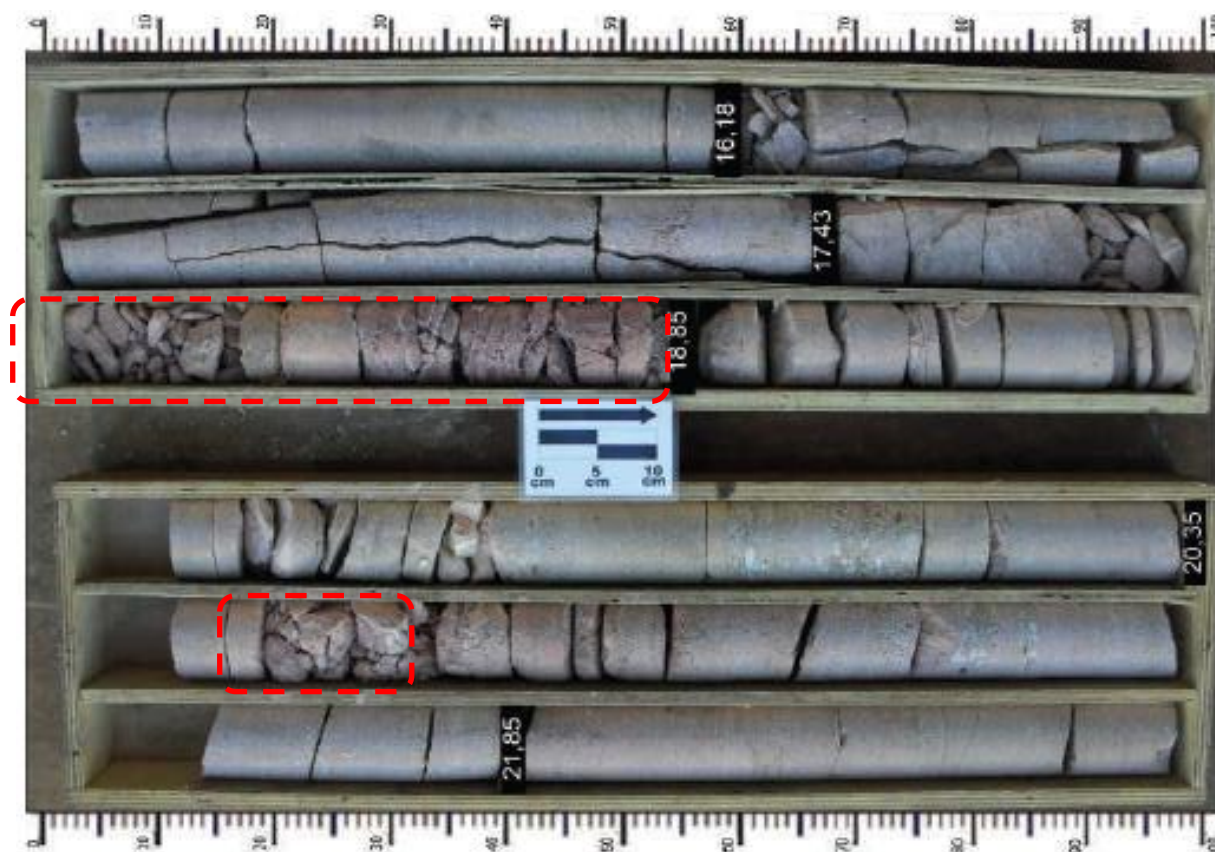


Foto 4.3.12 – Os trechos de material incoerente (C5) a pouco coerente (C4) ocorrem em praticamente todas as sondagens, com extensão que varia entre poucas dezenas de centímetros a diversos metros. A título de exemplo, vê-se na foto um tramo da SMB-01 (caixas 5 e 6), onde podem ser observados dois trechos C4/C5, assinalados.

Uma avaliação dos níveis de coerência realizada nas caixas de testemunhos das sondagens mostrou que horizontes de baixa coerência (C4/C5) ocorrem em quase todas as sondagens, em qualquer profundidade, com espessuras variáveis entre algumas dezenas de centímetros até muitos metros (SM-04, SM-08). O **Quadro 4.3.7** apresenta um resumo das observações feitas a esse respeito.

Quadro 4.3.7 - Níveis de baixa coerência e/ou baixa recuperação nas sondagens

SONDAGEM	PROFUNDIDADE		RECUPER.	OBSERVAÇÕES	EMPRESA EXECUTORA
	(m)				
SMB-01	0,00	1,80	20	perdas não localizadas	Tecnord
	4,50	9,40	50	trechos incoerentes	
	11,30	11,75	90	em fragmentos	
	12,75	13,05	20	pouco coerente	
	17,70	18,85	90	pouco coerente	
	20,40	20,60	90	pouco coerente	
	22,70	24,50	80	em fragmentos	
SMB-02	7,80	9,50	80	pouco coerente	Tecnord
	11,00	13,80	60	muito fraturado	
	25,00	26,50	60	muito fraturado	
SMB-03	2,40	4,20	60	perda não localizada	STS
SMB-04	5,20	6,60	50	em fragmentos	Tecnord
	10,80	11,00	75	em discos (junta?)	
	12,40	25,60	<25	em fragmentos (tectonismo?)	
SMB-05	2,60	3,60	50	perda não localizada	Tecnord
	8,50	8,90	60	pouco coerente	
	9,50	10,70	20	perda não localizada	
	15,80	17,00	80	pouco coerente	
SMB-06	5,10	5,40	80	pouco coerente	STS
	17,90	18,00	50	em fragmentos	
	18,40	20,10	50	pouco coerente	
	29,10	29,40	80	em fragmentos	
	30,10	30,60	90	pouco coerente	

SONDAGEM	PROFUNDIDADE (m)		RECUPER. (%)	OBSERVAÇÕES	EMPRESA EXECUTORA
SMB-07	0,20	3,10	0	incoerente	Tecnord
	10,75	10,95	75	em discos	
SMB-08	11,00	11,40	90	em fragmentos	Tecnord
SMB-09	0,00	20,15	<25	em fragmentos (rocha escura) (tectonismo?)	STS
SMB-10	2,50	6,30	35	em fragmentos	STS
SMB-11	4,10	4,20	80	em fragmentos	STS
	8,10	12,20	40	em fragmentos	
SMB-12	10,10	12,15	80	em fragmentos	STS
SMB-13	5,70	5,90	100	em fragmentos	STS
	7,20	8,30	20	em fragmentos	
	9,10	9,60	50	em fragmentos	
	10,20	10,80	60	em fragmentos	
	16,70	17,00	40	pouco coerente	
	17,80	18,80	30	pouco coerente	
SMB-14	0,60	1,60	40	em fragmentos	STS
	1,90	2,20	50	em fragmentos	
	4,50	5,60	55	muito friável	
	7,90	8,10	25	em fragmentos	
	8,50	9,00	80	muito fraturado	
	12,80	13,00	90	em fragmentos	
	19,70	20,20	70	em fragmentos	
	23,20	24,20	10	material incoerente	
SMB-15	3,60	5,10	50	em fragmentos	STS
	14,20	15,10	65	pouco coerente	

SONDAGEM	PROFUNDIDADE (m)		RECUPER. (%)	OBSERVAÇÕES	EMPRESA EXECUTORA
SMB-16	2,80	3,15	60	em fragmentos	STS
	6,80	7,20	70	pouco coerente	
	13,30	15,80	35	pouco coerente	
	18,00	20,00	75	trechos incoerentes	
SMB-17	4,25	4,60	80	em fragmentos	Tecnord
	7,70	8,00	70	em fragmentos	
	10,00	10,15	50	pouco coerente	
	12,15	12,40	40	pouco coerente	
	13,40	13,80	50	pouco coerente	
	20,00	20,70	100	pouco coerente	
SMB-18	0,80	6,50	50	trechos incoerentes	STS
	11,80	12,20	10	incoerente	
SMB-19	0,00	1,60	75	perda não localizada	Tecnord
	1,60	2,80	30	em fragmentos	
	13,85	14,25	80	pouco coerente	
	16,60	17,00	100	em fragmentos	
SMB-20	2,10	3,60	75	perda não localizada	Tecnord
	9,20	9,70	80	em fragmentos	
SMB-21	0,65	1,88	70	perda não localizada	Tecnord
	3,38	5,93	50	trechos incoerentes	
SMB-22	5,00	5,20	100	em fragmentos	Tecnord
	6,80	6,90	100	em fragmentos	
	9,00	9,10	100	em fragmentos	
SMB-23	2,10	2,60	70	Pouco coerente	Tecnord
	8,25	9,00	65	em fragmentos	

SONDAGEM	PROFUNDIDADE (m)		RECUPER. (%)	OBSERVAÇÕES	EMPRESA EXECUTORA
SMB-24	1,20	2,00	90	Em fragmentos	Tecnord
	2,45	3,00	15	incoerente	
	5,50	6,00	95	em fragmentos	
	7,95	8,30	100	em fragmentos	
SMB-25	4,20	4,60	95	em fragmentos	Tecnord
	11,20	12,30	95	Pouco coerente	

Na seção geológica reproduzida na figura abaixo (**Figura 4.3.6**), foram inseridos os trechos de material incoerente (C5) e/ou pouco coerente (C4), identificados visualmente nas fotos das caixas de sondagens. Na referida figura, a representação dos trechos C4/C5 foi feita com traços horizontais (sobrepostos ao desenho), sem levar em conta o eventual mergulho das camadas.

A origem dos trechos muito fraturados e/ou em fragmentos resulta, provavelmente, dos seguintes fatores: a) falhamentos geológicos regionais, com reflexos na atitude das camadas e b) processos superficiais de alívio de tensões, com formação de extensas juntas de alívio.

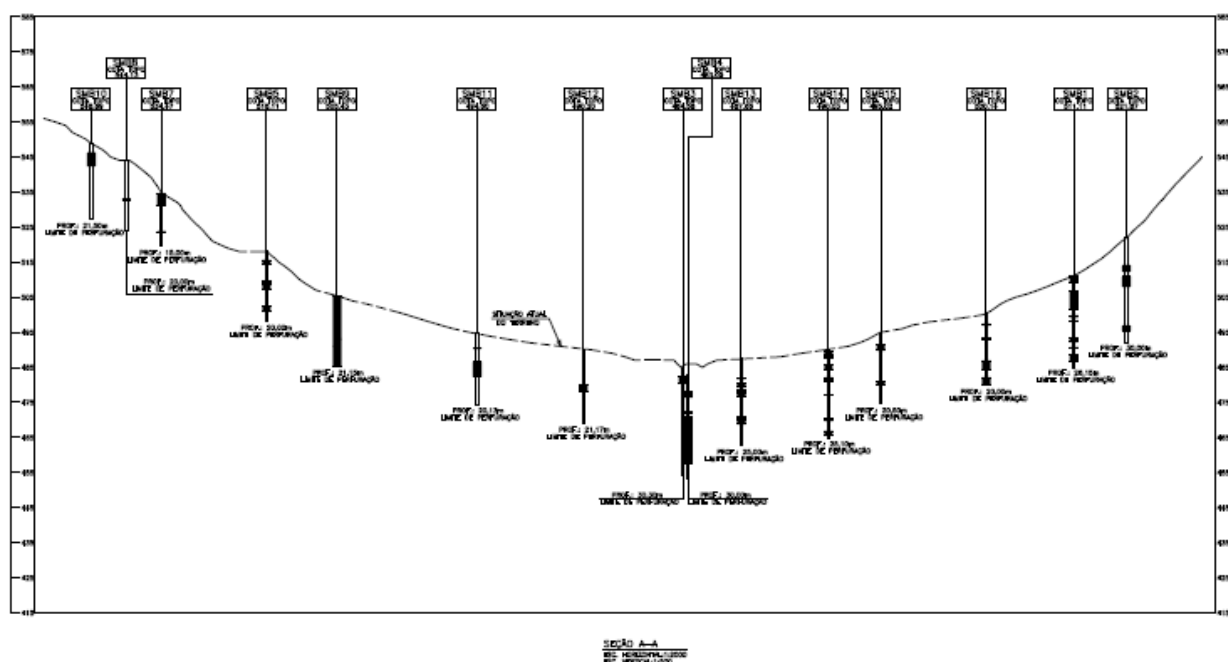


Figura 4.3.6 – Indicação das passagens de arenito incoerente (C5) a pouco coerente (C4) nas sondagens realizadas ao longo do eixo de barramento. Seção vista de jusante para montante.

Não parece haver possibilidade de correlação entre as camadas de materiais C4/C5 detectadas em sucessivas sondagens, mesmo próximas.

Quando próximos à superfície, esses trechos C4/C5 se confundem com os solos de alteração e podem ser facilmente escavados por meios mecânicos. Quando, entretanto, ocorrem sotopostos a horizontes de arenito coerente, são de difícil alcance, somente facultado por escavações a fogo.

4.3.5.3. Permeabilidade do maciço rochoso

Para determinação da permeabilidade do maciço rochoso foram executados, nos trechos de sondagem rotativa, ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Na realização dos ensaios foram seguidas as diretrizes do Boletim 02 da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.

Para a realização dos ensaios foi utilizada bomba tríplex modelo MT-100, de fabricação da Maquesonda, com capacidade de vazão de 100 l/min. Nos casos de perda d'água com vazão total da bomba, o ensaio foi refeito com o obturador em níveis mais abaixo, em segmentos reduzidos no mesmo trecho, com o intuito de se detectar a camada de maior permeabilidade.

Os ensaios foram realizados à medida que a sondagem avançava, com obturação no topo do trecho ensaiado, que geralmente era de 3,00 m, limitado inferiormente pelo fundo do furo e superiormente pelo obturador. Quando houve dificuldades tais como algum obstáculo, ou impossibilidade de obturação, o comprimento do trecho ensaiado teve que ser reduzido, ou aumentado.

Os cerca de 120 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.

No **Quadro 4.3.8** são resumidos os resultados obtidos nos ensaios de permeabilidade realizados nas sondagens, com os valores de permeabilidade (K) em cm/s.

Quadro 4.3.8 – Resultados dos ensaios de permeabilidade versus profundidade

PROFUND. (m)	PERMEABILIDADE (K) (cm/s)				
	NÃO OBTUROU	PERDA TOTAL	$K > 1 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4} > K > 1 \times 10^{-6}$	IMPERM.
0,3 A 3	---	---	1	6	---
3 A 6	---	5	9	1	1
6 A 9	1	1	3	7	---
9 A 12	---	1	3	13	---
12 A 15	2	---	2	12	---
15 A 18	---	---	2	12	---
18 A 21	---	1	1	11	---
21 A 24	---	---	3	6	---
>24	2	1	---	7	---
Total	5	9	24	80	1

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. 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 discontinuidades, uma vez que a matriz é praticamente impermeável.

Essas discontinuidades, tal como referido anteriormente, resultam basicamente de:

- a) compartimentação primária do maciço sedimentar, com preponderância de fraturas paralelas ao acamamento, isto é, de atitude sub-horizontal,
- b) descontinuidades secundárias, decorrentes do processo de alívio de tensões, normalmente de elevada persistência,
- c) fraturas de origem tectônica, associadas a falhamentos geológicos de caráter regional, também de grande persistência.

O caráter errático da permeabilidade do maciço rochoso local favorece o fluxo d'água pela fundação da futura barragem. Ainda que os horizontes de rocha coerente (C1 a C3) possam ser submetidos a tratamento de impermeabilização por cortinas de vedação convencionais, constituídas por injeções de calda de cimento, os horizontes menos coerentes (C4/C5) não são passíveis de tratamento pelo referido processo, visto que o cimento não penetra no solo, apresentando baixa eficiência em termos de impermeabilização.

Sendo assim, a redução localizada de permeabilidade na fundação da barragem dificilmente pode ser alcançada somente com a implantação de uma cortina de vedação convencional, mesmo constituída por várias linhas de injeção, o que acarretou, no projeto, a adoção de medidas voltadas para minimizar o fluxo d'água pela fundação da barragem, conforme exposto adiante.

4.3.5.4. Caracterização do lençol freático

A medição do nível d'água nos furos de sondagem foi feita individualmente, ao término da execução de cada uma delas, supondo-se a estabilização do referido nível. Entretanto, o prazo de execução da campanha de sondagens cobriu o período de dezembro/2011 (SMB-02) a maio/2012 (SMB-17), equivalendo a primeira data ao final da estação de estiagem e a segunda ao quase final do período de chuvas. Considerando-se, ainda, a reduzida quantidade de medidas disponíveis, o quadro referente à localização do lençol freático resulta um tanto fragmentário, embora indicativo de tendências.

Dentre as sondagens feitas ao longo do eixo de barramento, somente seis revelaram a presença de nível d'água na extensão perfurada, cobrindo o trecho do eixo de barramento que vai da SMB-12, na estaca E19+10, à meia altura na ombreira direita, até a SMB-15, na estaca E43, na ombreira esquerda, além da sondagem SMB-08, realizada na estaca E0, no alto da ombreira direita. As demais sondagens, realizadas nas ombreiras, resultaram secas, até a profundidade final, com exceção da SMB-19, feita no canal de aproximação ao vertedouro.

Em resumo, o lençol freático somente foi detectado nas sondagens realizadas no centro do vale, em sua porção mais baixa (com exceção da SMB-08), oscilando o nível d'água no intervalo de cotas 483 m a 490 m e dando a impressão que, em alguns casos, este se situava em cota inferior à do leito do rio. Caso isso fosse verdade, o rio estaria alimentando as margens e não vice-versa, como seria de se esperar. As informações, entretanto, são escassas e essa observação pode não corresponder ao real. Somente um acompanhamento periódico nos furos de sondagem convertidos em medidores de nível d'água poderá dar suporte a considerações mais embasadas.

4.3.5.5 Condições de fundação

a) Barragem

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 consequente 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. Adotou-se um tapete impermeável interno conectado a um núcleo central, um expressivo sistema de dreno e transição na fundação a jusante do núcleo, um cut-off central escavado com ripper, para a retirada de todo o extrato de arenito coerente mas

muito fraturado, e a criação de linhas de injeção de contenção limítrofes aos furos de injeção de impermeabilização.

b) Sangradouro e canais associados

A área do sangradouro, que inclui o canal de aproximação, a faixa do Creager, o rápido de restituição das águas e duas bacias de dissipação, se localiza na ombreira direita e foi investigada de forma bastante intensa pela campanha de sondagens (dez sondagens), além de ter sido feito o mapeamento geológico de superfície. Entretanto, as sondagens se concentraram na parte mais alta da ombreira e apenas uma forneceu 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 ciclópico, 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, intercalado por duas bacias de dissipação, foram realizadas cinco sondagens (SMB-17, SMB-18, SMB-20 e SMB-21, SMB-22 e SM-25). 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 de dispositivos de dissipação de energia, 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 jusante), onde o topo da rocha se aproxima da superfície do terreno. Na área da primeira bacia de dissipação realizou-se a sondagem SM-25, que confirmou a existência de rochas coerentes a partir de 2,10 m de profundidade.

4.3.6. Estudo dos materiais construtivos

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da barragem foram iniciados por um simples reconhecimento de 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 e solo argiloso (J-08; J-09) 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 estimou-se um volume de cerca de 608.736 m³.

Na jazida J-08, próxima a localidade de Xique-Xique e distante 21,9 km para a barragem, foram realizadas 185 sondagens investigativas, com profundidade média de 1,70 m, demarcando uma área de 73,74 ha e um volume estimado de 1.253.552 m³.

Na ocorrência J-09, distante cerca de 28,1 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.

Para a fonte de material para produção de brita, estudou um afloramento de rocha do tipo Gnaisse no município de Ipueiras, a cerca de 36 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 e proteção de montante (rip-rap), estudou um afloramento de rocha arenítica com presença de horizontes mais silidificados, na ombreira esquerda, distando cerca de 1,9 km a montante do local 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 e orientação dos caminhos de serviço das jazidas estudadas, para aplicação no maciço da barragem Lontras, encontra-se apresentada na imagem da **Figura 4.3.7** e melhor detalhada no Tomo 2- Desenhos.



Figura 4.3.7 - Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Lontras

4.3.6.1. Jazidas de solo

As jazidas de solo foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada típica de 50 m de lado, cobrindo a área a ser explorada, conforme é mostrado nas pranchas do Tomo 2- Desenhos. Os horizontes encontrados nestes furos foram identificados, classificados tátil visualmente e medidas suas espessuras, conforme apresentado nos boletins de campo, constantes do Tomo 4 A- Geologia e Geotecnia- Anexos do Volume 1- Estudos Básicos.

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

Quadro 4.3.9 - Volume de Materiais das Jazidas

Local	Volume (m ³)		
	Pesquisado	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 – 09	1.172.745	98.550	1.271.295
Jazida J – 08	1.016.652	254.163	1.270.815
Volume Total	5.134.237	721.793	5.856.030

Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidas à 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-2-4	A-2-6	A-2-6	A-2-4	
CLASSIFICAÇÃO UCS		SC	SC	SC	SM/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	0,10	X	σ	Xmin	Xmáx	
	ATÉ	0,60	1,20	0,70	1,20	1,20	0,70	1,20	0,70	1,20	1,20					
GRANULOMETRIA																
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	
		1"	100%	100%	97%	95%	100%	100%	89%	100%	100%	100%	97,9%	3,8%	94,5%	100,0%
		3/8"	99%	95%	81%	91%	91%	95%	82%	97%	99%	99%	92,2%	6,7%	86,2%	98,3%
		Nº 4	97%	82%	65%	90%	62%	92%	79%	89%	98%	98%	83,8%	13,1%	72,1%	95,5%
		Nº 10	94%	77%	57%	89%	55%	89%	78%	82%	97%	97%	79,8%	15,1%	66,2%	93,3%
		Nº 40	80%	63%	51%	73%	47%	79%	72%	74%	87%	87%	69,6%	13,4%	57,5%	81,6%
	Nº 200	35%	32%	25%	37%	25%	37%	27%	27%	37%	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	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	19,1	21,6%				
	IP	11,9	10,7	9,3	11,8	9,4	11,9	9,7	9,6	12,7	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	A-2-6	-	-	-	-	
	CLASSIFICAÇÃO UCS	SC	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	14,2	14,07	0,51	-	-	
	Dmáx (g/cm ³)	1.850	1.790	1.900	1.790	1.750	1.830	1.670	1.890	1.810	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	3,7	3,18	0,77	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS														
TRECHO: JAZIDA 03														
FURO		01	05	07	09	11	13	16	18	19	20	21	23	
PROFUNDIDADE	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	1,80	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 _{min}	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					
(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%	99,2%	2,9%	96,6%	100,0%
		3/8"	100%	100%	100%	100%	78%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	97%	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%	95,6%	7,3%	89,0%	100,0%
		Nº 10	98%	98%	99%	98%	72%	98%	94%	88%	83%	88%	97%	86%	92%	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%	75,3%	10,7%	65,7%	84,9%
		Nº 200	46%	43%	39%	45%	45%	47%	34%	38%	32%	40%	40%	45%	39%	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%	35,1%	4,0%	31,5%	38,7%	
LP		24%	21%	21%	27%	26%	25%	23%	19%	25%	27%	20%	17%	24%	17%	23%				
IP		13%	12%	14%	13%	14%	11%	12%	10%	13%	14%	12%	13%	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	-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S																-	-	-	-	
CLASSIFICAÇÃO SUCS		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	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	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	X _{min}	X _{máx}	
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	-	-	
D _{máx} (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	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
	(m)	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%	100%
		3/8"	100%	100%	90%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%	97%	100%
		Nº 4	100%	98%	78%	100%	100%	100%	100%	98%	99%	100%	88%	96%	100%
		Nº 10	95%	93%	69%	100%	100%	100%	100%	96%	98%	100%	74%	95%	100%
		Nº 40	86%	80%	59%	89%	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 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	Xmín	Xmáx	
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-	-	
		1"	94%	100%	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%	100%	97,9%	5,1%	93,3%	100,0%
		Nº 4	73%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	99%	96,0%	7,8%	89,0%	100,0%
		Nº 10	63%	87%	94%	96%	98%	98%	98%	98%	96%	92,5%	10,9%	82,7%	100,0%
		Nº 40	56%	77%	81%	84%	86%	89%	81%	86%	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	-	-	

RESUMO DOS ENSAIOS																						
TRECHO: JAZIDA 8																						
FURO		02	10	14	16	26	30	40	46	50	57	61	68	74	93	99	101	107	110	116	122	
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	0,10	0,10	0,10	0,10	
	(m)	ATÉ	1,10	2,50	1,50	2,10	2,50	2,20	2,40	1,90	1,00	0,60	0,60	1,40	0,60	1,70	1,70	1,20	2,10	1,60	1,50	1,30
GRANULOMETRIA																						
GRANULOMETRIA	% PASSANDO	2"	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
		1"	100%	96%	92%	100%	100%	98%	100%	100%	93%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	91%	98%
		3/8"	100%	89%	80%	95%	93%	92%	100%	100%	89%	97%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	99%	100%	89%	94%
		Nº 4	99%	86%	74%	94%	91%	88%	99%	99%	88%	97%	100%	99%	99%	100%	99%	100%	98%	99%	88%	93%
		Nº 10	99%	84%	70%	93%	89%	88%	98%	97%	88%	96%	99%	99%	98%	99%	99%	99%	97%	98%	88%	92%
		Nº 40	91%	75%	62%	84%	80%	80%	88%	79%	82%	89%	88%	91%	90%	88%	83%	75%	89%	87%	80%	83%
		Nº 200	50%	47%	28%	49%	50%	48%	51%	45%	51%	53%	49%	53%	42%	41%	48%	48%	52%	46%	48%	38%
LIMITES DE ATTERBERG																						
LL		29%	38%	34%	37%	30%	36%	29%	38%	29%	29%	33%	29%	38%	36%	33%	33%	29%	30%	29%	36%	
LP		15%	25%	24%	24%	16%	23%	15%	25%	15%	16%	20%	16%	26%	24%	21%	20%	16%	18%	16%	24%	
IP		14%	13%	10%	13%	14%	13%	14%	13%	14%	13%	13%	13%	12%	12%	12%	13%	13%	12%	13%	12%	
CLASSIFICAÇÃO U.S.C.S.																						
CLASSIFICAÇÃO UCS		CL	SC	SC/SM	SC	CL	SC	CL	SC	CL	CL	SL	CL	SC	SC	SC	SC	CL	SC	SC	SC	
COMPACTAÇÃO																						
Hótima (%)		14,8	16,0	15,3	16,4	16,2	14,3	14,5	15,0	13,8	14,1	14,6	14,7	13,9	13,6	15,0	15,0	16,4	13,6	15,4	15,0	
Dmáx (g/cm ³)		1.791	1.790	1.880	1.650	1.820	1.765	1.825	1.880	1.700	1.900	1.800	1.825	1.720	1.750	1.880	1.690	1.660	1.618	1.720	1.810	

RESUMO DOS ENSAIOS													
TRECHO: JAZIDA 8													
FURO		124	129	137	142	150	158	168	Tratamento Estatístico dos resultados				
PROFUNDIDADE	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	X	σ	Xmín	Xmáx	
(m)	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	-	-		

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 4.3.10 - 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 4.3.11 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 03A

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

Quadro 4.3.12 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04

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

Quadro 4.3.13 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 04A

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

Quadro 4.3.14 - Permeabilidade de Carga Variável – Jazida 05

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

Quadro 4.3.15 - 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

Quadro 4.3.16 - 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

ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO

Quadro 4.3.17 –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 4.3.18 –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 4.3.19 –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 4.3.20 –Cisalhamento direto – Jazida 03A

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

Quadro 4.3.21 –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 4.3.22 –Ensaio triaxial – Jazida 08

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

4.3.6.2. 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 4.3.23 - 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%

GRANULOMETRIA AREAL DO RIO JATOBÁ							
FURO	1"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 80	Nº 200
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%

4.3.6.3 Pedreiras

As pedreiras foram identificadas e estudadas para a execução das transições, espaldar de enrocamento de jusante, rip-rap e agregados dos concretos.

A pedreira P-01, estudada para utilização no espaldar jusante, transição grossa e proteção de montante da barragem, fica 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.

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 (**Figura 4.3.8**), extraída do Google Earth, mostra o local da possível fonte de rocha. Oito ensaios de abrasão Los Angeles, de amostras da superfície retiradas do paredão arenítico, apresentaram valores variando de 36 a 43%, sendo a média de 40%



Figura 4.3.8 - Possível área-fonte de rocha para enrocamento

A pedreira P-02, indicada para transições finas e obras de concreto, situa-se próximo do ponto UTM 304.703 e 9.491.143 e consiste na ocorrência gnaissica explorada para a construção da barragem Jatobá, distando de cerca de 35,9 km para o eixo da barragem Lontras.

5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM

5. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO DA BARRAGEM

5.1. GENERALIDADES

Neste capítulo é apresentado o memorial descritivo do projeto da Barragem Lontras no município de Ipueiras que será construída barrando o rio Inhuçu no ponto de coordenadas N=9.499.355 e E=283.200. O eixo localiza-se cerca de 4 km a montante da zona urbana do distrito de São José das Lontras.

O desenvolvimento deste item é feito abordando os seguintes tópicos:

- Escolha do Eixo Barrado;
- Escolha do Tipo de Barragem;
- Fundação da Barragem;
- Maciço da Barragem;
- Sangradouro;
- Tomada D' água.

Os desenhos que compõem o Projeto Executivo da barragem Lontras são relacionados a seguir:

DESCRIÇÃO	NÚMERO
01 - GERAL	
Barragem Lontras - Localização e Acessos	BL-PE-01-01/17
Barragem Lontras - Bacia Hidráulica- Curvas Cota x área x Volume	BL-PE-01-02/17
Barragem Lontras – Planta de Locação dos Eixos das Obras	BL-PE-01-03/17
Barragem Lontras - Perfil Longitudinal Topográfico do Eixo da Barragem	BL-PE-01-04/17
Barragem Lontras – Arranjo Geral das Obras	BL-PE-01-05/17
Barragem Lontras – Planta de Locação das Sondagens	BL-PE-01-06/17
Barragem Lontras – Perfil Geotécnico da Barragem	BL-PE-01-07/17
Barragem Lontras – Localização Geral das Ocorrências de Materiais	BL-PE-01-08/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J 01	BL-PE-01-09/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J02 e	BL-PE-01-10/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J03 e	BL-PE-01-11/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J04 A	BL-PE-01-12/17

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J04	BL-PE-01-13/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J05	BL-PE-01-14/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J09	BL-PE-01-15/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais da Jazida de Solo J10	BL-PE-01-16/17
Barragem Lontras – Planta e Dados Principais do Areal do rio Jatobá	BL-PE-01-17/17
02 - MACIÇO	
Barragem Lontras – Planta de Escavação da Fundação da Barragem	BL-PE-02-01/40
Barragem Lontras – Seção Máxima e Detalhes	BL-PE-02-02/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 02 a 07	BL-PE-02-03/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 08 a 10	BL-PE-02-04/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 11 e 12	BL-PE-02-05/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 13 e 14	BL-PE-02-06/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 15 e 16	BL-PE-02-07/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 17 e 18	BL-PE-02-08/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 19 e 20	BL-PE-02-09/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 21 e 22	BL-PE-02-10/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 23 e 24	BL-PE-02-11/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 25 e 26	BL-PE-02-12/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 27 e 28	BL-PE-02-13/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 29 e 30	BL-PE-02-14/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 31 e 32	BL-PE-02-15/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 33 e 34	BL-PE-02-16/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 35 e 36	BL-PE-02-17/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 37 e 38	BL-PE-02-18/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 39 e 40	BL-PE-02-19/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 41 e 42	BL-PE-02-20/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 43 e 44	BL-PE-02-21/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 45 e 46	BL-PE-02-22/40

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 47 e 48	BL-PE-02-23/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 49 e 50	BL-PE-02-24/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 51 e 52	BL-PE-02-25/40
Barragem Lontras – Seções Transversais – Estacas 53 a 60	BL-PE-02-26/40
Barragem Lontras – Cortina de Injeção – Planta baixa e perfil	BL-PE-02-27/40
Barragem Lontras – Cortina de Injeção – Seção e Detalhes	BL-PE-02-28/40
Barragem Lontras – Cortina de Injeção – Trechos -3+8,72 a 28	BL-PE-02-29/40
Barragem Lontras – Cortina de Injeção – Trechos 28 a 60+10,00	BL-PE-02-30/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Planta Baixa	BL-PE-02-31/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 9+10 e 12+10	BL-PE-02-32/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 12+10 e 14+00	BL-PE-02-33/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 18+00 e 24+00	BL-PE-02-34/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 28+00 e 32+00	BL-PE-02-35/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 32+10 e 36+00	BL-PE-02-36/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 40+00 e 44+00	BL-PE-02-37/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Estacas 50+00, 52+10 e 54+00	BL-PE-02-38/40
Barragem Lontras – Instrumentação – Piezômetros, Inclínômetros e	BL-PE-02-39/40
Barragem Lontras – Drenagem Superficial	BL-PE-02-40/40
03 - ETAPAS CONSTRUTIVAS	
Etapas Construtivas - Fase 1	BL-PE-03-01/08
Etapas Construtivas- Fase 2	BL-PE-03-02/08
Etapas Construtivas- Fase 3	BL-PE-03-03/08
Etapas Construtivas- Fase 4	BL-PE-03-04/08
Etapas Construtivas- Fase 5	BL-PE-03-05/08
Etapas Construtivas- Fase 6	BL-PE-03-06/08
Etapas Construtivas- Detalhes Canal de Desvio e Ensecadeira 1	BL-PE-03-07/08
Etapas Construtivas- Detalhes Ensecadeira 2 e 3	BL-PE-03-08/08

DESCRIÇÃO	NÚMERO
04 - SANGRADOURO	
Sangradouro- Arranjo Geral	BL-PE-04-01/24
Sangradouro- Cortes Transversais Típicos	BL-PE-04-02/24
Sangradouro- Perfil Longitudinal do Muro Lateral Direito	BL-PE-04-03/24
Sangradouro- Perfil Longitudinal do Muro Lateral Esquerdo	BL-PE-04-04/24
Sangradouro- Vista do Muro Direito	BL-PE-04-05/24
Sangradouro- Vista do Muro Esquerdo	BL-PE-04-06/24
Sangradouro- Cortes dos Muros Laterais e Detalhes	BL-PE-04-07/24
Sangradouro- Planta de Escavação	BL-PE-04-08/24
Sangradouro- Perfil de Escavação pelo Eixo	BL-PE-04-09/24
Sangradouro- Perfil Creager e Detalhes	BL-PE-04-10/24
Sangradouro- Detalhe das Juntas	BL-PE-04-11/24
Sangradouro- Detalhe dos Chumbadores	BL-PE-04-12/24
Sangradouro- Planta de Drenagem	BL-PE-04-13/24
Sangradouro- Detalhes da Drenagem	BL-PE-04-14/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Montante (M0-M08)	BL-PE-04-15/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J00-J10)	BL-PE-04-16/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J11-J25)	BL-PE-04-17/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J26-J37)	BL-PE-04-18/24
Sangradouro- Seções do Eixo em Jusante (J38-J45)	BL-PE-04-19/24
Sangradouro- Estrutural dos Muros- Seção AA e BB	BL-PE-04-20/24
Sangradouro- Estrutural dos Muros- Seção CC e DD	BLN-PE-04-21/24
Sangradouro- Estrutural dos Muros- Seção EE e FF	BL-PE-04-22/24
Sangradouro- Estrutural dos Muros- Seção GG e HH	BL-PE-04-23/24
Sangradouro- Estrutural da Laje	BL-PE-04-24/24

DESCRIÇÃO	NÚMERO
05 - TOMADA D'ÁGUA	
Tomada D' Água – Planta	BL-PE-05-01/21
Tomada D' Água – Perfil Longitudinal- Escavação	BL-PE-05-02/21
Tomada D' Água – Escavação- Seções 01 a 20	BL-PE-05-03/21
Tomada D' Água – Escavação- Seções 21 a 38+8,99	BL-PE-05-04/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural- Planta e Seção	BL-PE-05-05/21
Tomada D' Água – Boca de Entrada de Montante- Detalhes	BL-PE-05-06/21
Tomada D' Água – Torre- Detalhes	BL-PE-05-07/21
Tomada D' Água – Casa de Comando da Comporta - Detalhes	BL-PE-05-08/21
Tomada D' Água – Casa de Comando das Válvulas - Detalhes	BL-PE-05-09/21
Tomada D' Água – Equipamentos Hidromecânicos - Detalhes	BL-PE-05-10/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Cortes e Escada	BL-PE-05-11/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Armadura Bloco,Vigas contato e	BL-PE-05-12/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura dos Pilares	BL-PE-05-13/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura do Patamar 2	BL-PE-05-14/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura do Patamar 3	BL-PE-05-15/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura Patamar 11 e	BL-PE-05-16/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Torre: Armadura do Forro e	BL-PE-05-17/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Galeria: Forma e Armadura	BL-PE-05-18/21
Tomada D' Água – Projeto Estrutural – Casa de Comando de Válvulas:	BL-PE-05-19/21
Tomada D' Água- Projeto Estrutural –Casa de Comando de Válvulas:	BL-PE-05-20/21
Tomada D' Água –Pro Estr–Casa Comando de Válvulas: Armadura do	BL-PE-05-21/21
06 - DESCARGA DE FUNDO	
Descarga de Fundo- Planta e Perfil do Sistema	BL-PE-06-01/24
Descarga de Fundo- Seções de Escavação - Seções 01-14	BL-PE-06-02/24
Descarga de Fundo- Seções de Escavação – Seção 15-28	BL-PE-06-03/24
Descarga de Fundo- Seções de Escavação – Seção 29-37	BL-PE-06-04/24

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Descarga de Fundo- Planta e Seção	BL-PE-06-05/24
Descarga de Fundo- Boca de entrada de Montante- Detalhes	BL-PE-06-07/24
Descarga de Fundo- Torre - Detalhes	BL-PE-06-08/24
Descarga de Fundo- Casa de Comando da Comporta - Detalhes	BL-PE-06-09/24
Descarga de Fundo- Casa de Comando de Válvula – Detalhes 1	BL-PE-06-10/24
Descarga de Fundo- Casa de Comando de Válvula – Detalhes 2	BL-PE-06-11/24
Descarga de Fundo- Casa de Comando de Válvula – Detalhes 3	BL-PE-06-12/24
Descarga de Fundo- Equipamentos Hidromecânicos - Detalhes	BL-PE-06-13/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre de comando da Comporta	BL-PE-06-05/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura Vigas N1 ao N6	BL-PE-06-14/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura Vigas N7 ao	BL-PE-06-15/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura Laje 13 e 15,	BL-PE-06-16/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura Vigas N12 ao	BL-PE-06-17/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural-Torre:Armadura dos Pilares,	BL-PE-06-18/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Formas da Escada	BL-PE-06-19/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Torre: Armadura da Escada	BL-PE-06-20/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Galeria- Seção e Armadura	BL-PE-06-21/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Boca de Montante: Planta e	BL-PE-06-22/24
Descarga de Fundo- Projeto Estrutural- Boca de Jusante: Armadura	BL-PE-06-23/24
Descarga de Fundo-Projeto Estrutural- Boca de Jusante: Vigas, Lajes e	BL-PE-06-24/24
07 - CANTEIRO DE OBRAS	
Canteiro de obras- Arranjo Geral	BL-PE-07-01/09
Canteiro de Obras- Administração	BL-PE-07-02/09
Canteiro de Obras- Oficina	BL-PE-07-03/09
Canteiro de Obras- Refeitório	BL-PE-07-04/09
Canteiro de Obras- Portaria/ Chaperia	BL-PE-07-05/09
Canteiro de Obras- Ambulatório	BL-PE-07-06/09
Canteiro de Obras- Alojamento Administração	BL-PE-07-07/09

DESCRIÇÃO	NÚMERO
Canteiro de Obras- Alojamento dos Engenheiros	BL-PE-07-08/09
Canteiro de Obras - Sanitários e Vestiários	BL-PE-07-09/09

5.2. ESCOLHA DO EIXO BARRADO

Com base na restituição das imagens do satélite Geoyes e na inspeção direta de campo selecionou-se algumas alternativas de possível localização da barragem Lontras, tendo como premissa que, para a capacidade volumétrica do futuro reservatório (entre 350 e 400 Hm³), o eixo do barramento deveria situar-se a uma distancia a jusante do perímetro urbano da cidade de Croatá suficiente para não inunda-lo. Ao mesmo tempo deveria representar o menor volume de aterro para o maciço e condições satisfatórias para implantação do sistema de sangria.

As alternativas levantadas foram as seguintes:

- a) Eixo definido nos estudos de viabilidade realizados pelo consórcio Montgomery Watson/ Engesoft, chamado eixo Lontras
- b) Eixo distando cerca de 800 m a jusante do anterior, denominado Lontras 1
- c) Eixo a jusante dos dois primeiros e imediatamente a montante da zona urbana de São Jose das Lontras, chamado Lontras 2.

Nesses locais escolhidos como alternativos foram implantados topograficamente os eixos escolhidos como de possível barramento e de sistema de sangria. Um reconhecimento geológico preliminar de superfície foi realizado ao longo desses eixos.

Com esses elementos e a base cartográfica, obtida pela restituição das imagens de satélite, definiu-se a cota do lago do reservatório, e conseqüentemente, do coroamento dos maciços das barragens. Definiram-se, para uma mesma seção tipo, os volumes dos aterros e escavações no sangradouro e a estimativa de custo para cada alternativa.

Os eixos Lontras 1 e Lontras 2 situam-se num trecho onde o rio apresenta uma declividade acentuada (média de 8%), com leito encaixado e ombreiras distantes e relativamente íngremes. No eixo Lontras 2 o rio transcorre por um “Canyon” de 35 m de altura, no Lontras 1 por um acidente semelhante, porém com cerca de 15 m de altura, o que acarretou em barragens mais altas e mais volumosas que a alternativa do eixo Lontras, situado em seção mais suave do rio.

Dentre as 3 alternativas o eixo Lontras mostrou-se mais atraente, quer em termos de extensão, volume de maciço, custo de implantação e de sistema de execução dos trabalhos.

No entanto, iniciados os trabalhos de investigação geológica detalhada do eixo Lontras cogitou-se de uma possível anomalia na ombreira esquerda, que deveria ser investigada por meio de sondagens.

Procedeu-se, então duas sondagens rotativas com diâmetro HX nesta ombreira. Ambas as sondagens apresentaram perda do fluido de lavagem, fraturas abertas e preenchidas, de várias espessuras, intercalações de solos, instabilidade do furo (tendo de ser permanentemente revestidos) e impossibilidade de realizar ensaios de perda d'água de cinco estágios, por perda total da água injetada. Com estes resultados confirmaram-se as adversas condições da fundação na ombreira esquerda deste eixo, que exigiriam escavações de grande profundidade para assegurar uma estanqueidade sob o maciço e, principalmente, de uma estabilidade do conjunto maciço- fundação.



Figura 5.1 - Ombreira esquerda do eixo Lontras, onde foi observado indícios de anomalias geológicas que poderiam condicionar o projeto da barragem.

Buscou-se então um eixo posicionado a montante deste (600 m pela estrada de terra), onde se abriu uma picada exploratória e realizou-se uma investigação de superfície para avaliar os aspectos geológicos. Observou-se que as condições geológicas da ombreira esquerda não se assemelham as observadas no eixo Lontras e que, de um modo geral, eram muito mais favoráveis.

Com base nesta constatação implantou-se topograficamente um eixo no local, denominando-o Lontras B, e iniciou-se uma campanha de sondagens na ombreira esquerda para avaliação mais precisa das condições geológicas do substrato rochoso. Paralelamente realizou-se uma comparação entre os volumes de aterro para o barramento nas duas alternativas (Lontras e Lontras B), e conseqüentemente de custos de suas implantações, chegando-se a conclusão que ambas as alternativas se equivalem nesse aspecto.

Na imagem da **Figura 5.2** observa-se a posição do eixo Lontras e do Lontras B.



Figura 5.2 - Localização do eixo Lontras B em relação ao eixo Lontras

Após a conclusão de dois furos de sondagens na ombreira esquerda, que confirmaram as melhores condições geológicas do eixo Lontras B, este foi adotado para o desenvolvimento do projeto.

5.3. ESCOLHA DO TIPO DE BARRAGEM

Na eleição do tipo de barragem mais apropriado para o local escolhido observou-se que o condicionante mais relevante diz respeito aos aspectos geológicos/geotécnicos da região.

Estes aspectos se traduzem na disponibilidade quase exclusiva de solos arenosos finos, com ausência ou muito baixa plasticidade, e rochas areníticas com grande variabilidade no grau de coerência. Solos areno argilosos são raros e normalmente distantes da área da barragem, areias com granulometria média ou grossa são praticamente inexistentes, assim como rochas graníticas ou gnaissicas.

Neste cenário concluiu-se a inviabilidade financeira de adoção de um maciço de gravidade em CCR, devida à necessidade de grandes distancias de transportes para os agregados (areia a 45 km e brita a 36 km) e pelas condições geológicas da fundação, que exigiriam profundas escavações em rochas areníticas incoerentes ou muito fraturadas, para o assentamento de uma barragem de gravidade.

Um balanceamento entre custos de escavações rochosas, transporte de solos coesivos e aproveitamento das escavações rochosas obrigatórias do sangradouro, levou a concepção de algumas alternativas de maciços mistos, com combinações de uso de solo areno argiloso e enrocamento ao longo do maciço da barragem.

A seção alternativa que se mostrou mais apropriada técnica e economicamente foi a que adota espaldar de montante de solo com presença de matacões de até 20 cm de diâmetro, provenientes de jazidas próximas, espaldar de jusante de enrocamento, aproveitando as escavações obrigatórias do sangradouro e complementado pela exploração de pedreira, e núcleo central de solo areno argiloso, com pedregulho de até 5 cm de diâmetro, proveniente das jazidas mais distantes.

Esta seção, assim com as demais alternativas, levaram em consideração as características do maciço rochoso de fundação, com elevada condutibilidade hidráulica e presença de intercalações de argilitos e siltitos.

Na **Figura 5.3** é apresentada uma representação da seção tipo adotado no projeto.

Figura 5.3 - Barragem Lontras – Seção Tipo

5.4. FUNDAÇÃO

5.4.1 Considerações gerais

A análise das condições geológicas do maciço de fundação da Barragem de Lontras detalhadamente descritas nos estudos geológicos do Volume 1- Estudos Basicos, conduziu à conclusão que se trata de um maciço sedimentar da formação Serra Grande constituído essencialmente por arenitos coerentes a pouco coerentes, com alguns níveis de siltitos e argilitos incoerentes a pouco coerentes intercalados, frequentemente muito fraturados, em resultado da atividade tetônica que afetou esses terrenos ou da descompressão superficial do maciço. Os arenitos pouco coerentes ou incoerentes e os siltitos e argilitos têm no geral comportamento friável. A cobertura terrosa é em geral escassa, desde inexistente (afloramentos rochosos) até cerca de 2 a 3 metros de espessura, e constituída por solos arenosos finos, por vezes siltosos, com alguns seixos e pequenos blocos

A realização de ensaios de perda de água no interior de algumas sondagens executadas ao longo do eixo do barramento e a posição dos níveis freáticos nessas sondagens permitem concluir que o maciço rochoso exhibe em geral elevada permeabilidade até profundidades variáveis, não compatível com o seu bom comportamento quando do enchimento do reservatório. Essa permeabilidade deverá resultar, essencialmente, da maior ou menor abertura das fraturas que ocorrem até às profundidades estudadas e não da porosidade dos níveis litológicos que compõem o maciço.

Toda a informação geológica e hidrogeológica sub-superficial que serviu de base à interpretação feita resultou da análise dos testemunhos e dos resultados dos ensaios de perda de água de um número relativamente pequeno de sondagens e de ensaios, tendo-se, no entanto, usado na campanha de sondagens todos os quantitativos contratados para o projeto. Com efeito, ao longo dos 1.170 metros de extensão do coroamento foram apenas executadas 14 sondagens mistas, com comprimentos entre 18 e 31 metros, o que corresponde a uma distância média entre furos de cerca de 85 metros, e no alinhamento do sangradouro, com 80 metros de extensão, foram executadas mais 3 sondagens mistas, com comprimentos entre 15 e 21,5 metros. Foram realizados ensaios de perda de água em apenas 10 sondagens no alinhamento do eixo da barragem e nas 3 sondagens executadas no alinhamento do sangradouro, num total de cerca de 120 ensaios de perda de água, já que não foi possível obturar alguns trechos ou ocorreu perda de água total em outros. A heterogeneidade do maciço rochoso furado, quer em termos da estrutura tectónica do terreno e do fraturamento associado, quer em termos de comportamento hidráulico, leva a recomendar a execução de uma campanha de sondagens complementar, no início da obra

visando fazer algum zoneamento geotécnico e hidráulico do maciço rochoso, que permita ajustar o projeto do tratamento antes de ser dado o seu início.

Assim, a viabilização do empreendimento em termos hidráulicos e de segurança exige que seja feito o tratamento do maciço de fundação, visando reduzir significativamente as vazões através do maciço rochoso e a possibilidade de a percolação provocar fenômenos de erosão interna nos níveis mais friáveis.

Atendendo ao modelo geológico, sucintamente descrito acima, fez-se uma ponderação sobre os procedimentos e técnicas que seriam mais adequados neste caso, para se atingirem os objetivos pretendidos. Nessa ponderação foi tido em conta que a barragem terá 1.172 metros de extensão e 56 metros de altura máxima.

A primeira consideração teve a ver com a possibilidade de se considerar uma seção para a barragem que diminuísse significativamente a velocidade de percolação pela sua fundação, através da redução do gradiente hidráulico que se virá a instalar com o enchimento do reservatório. Analisada a disponibilidade de solos finos nas jazidas estudadas, situadas a uma distância regionalmente aceitável, considerou-se que a seção mais favorável seria a de perfil misto, com o maciço de montante constituído integralmente por solo silto-argiloso com blocos até 0,20m de diâmetro, encostando ao núcleo argiloso com uma inclinação de 1:0,25 (v:h), que encosta a um filtro chaminé com uma inclinação de cerca de 1:0,35(v:h), e ao maciço de jusante constituído por enrocamento desejavelmente de blocos de arenito coerente a muito coerente, em parte resultante dos produtos da escavação prevista para a instalação do sangradouro e em parte explorado em pedra próxima. Atendendo a que o maciço de montante (solo fino com blocos) não assegura um grau de impermeabilidade satisfatório, decidiu-se prolongar o núcleo argiloso por um tapete impermeável com cerca de 2,4 m de espessura, subjacente a esse maciço, em toda a sua extensão

Na **Figura 5.3** está representada esquematicamente a seção-tipo concebida e que foi utilizada no projeto.

O gradiente hidráulico máximo resultante dessa seção é assim de cerca de 0,3.

Na situação de pleno armazenamento, a velocidade de percolação da água através do maciço de fundação será assim bastante moderada, daí resultando uma menor probabilidade para a ocorrência de fenômenos de erosão interna afetando os níveis mais friáveis. No entanto, considerou-se indispensável incorporar na seção da barragem, com o mesmo objetivo de impedir fenômenos de erosão interna, um sistema de filtro e dreno, com as respetivas camadas dimensionadas (granulometria e espessura) de forma a impedir o

arrastamento de partículas finas desses níveis mais friáveis, mantendo a integridade do maciço de fundação, assegurando assim a sua estabilidade.

Apesar dessas medidas incorporadas na seção da barragem, considerou-se que seria ainda indispensável estudar um sistema de tratamento do maciço de fundação que atuasse no sentido de diminuir o seu grau de permeabilidade.

Para o efeito, fez-se uma listagem de tecnologias que poderiam ser utilizadas com esse objetivo, tendo-se considerado, para além do tratamento mais convencional com cortinas de injeção de caldas cimentícias, a realização de parede diafragma com emprego de hidrofresa, a execução de cortina de estacas secantes não armadas e ainda cortina com colunas de jet-grouting.

Atendendo aos resultados das investigações geotécnicas, e tendo em atenção as considerações feitas sobre o número reduzido de sondagens e ensaios de perda de água, face à extensão da barragem, concluiu-se que, qualquer que fosse a solução tecnológica, o tratamento teria que ser feito ao longo de toda a fundação e pelo menos até cerca de 30 metros de profundidade, em grande parte da sua extensão.

Em relação à realização de uma parede diafragma com emprego de hidrofresa capaz de cortar uma trincheira com um mínimo de 0,6 m de largura, teríamos uma parede com uma área total de cerca de 40.000 m² e um volume de concreto de cerca de 25.000 m³. Trata-se de equipamento e tecnologia introduzidos no Brasil nos últimos anos, existindo já algumas empresas especializadas equipadas para executarem esse serviço. Dadas as dimensões da obra, essa solução teria um custo desproporcionado ao custo de construção do aproveitamento, atendendo a que o valor unitário de uma parede diafragma construída em rocha com hidrofresa é cerca de 5 a 6 vezes superior ao valor de uma parede diafragma construída em maciço terroso. Por essa razão, não se considerou essa solução para conter a percolação da água através do maciço rochoso de fundação, embora ela fosse a que desse maior garantia de eficácia.

A solução de cortina de estacas secantes não armadas parece ser igualmente de preço desproporcionado em relação ao custo total da obra. Considerando estacas de 1,20 metros de diâmetro e os mesmos 30m de comprimento no maciço rochoso, a cortina exigiria cerca de 1.200 estacas com um comprimento total de cerca de 35.000 metros. Acresce que a garantia de não passagem de água através da cortina não é total, como é no caso da parede diafragma, em virtude de poder haver desvios da vertical que podem atingir 2%, deixando então janelas na estrutura que permitem a passagem.

Uma solução de cortina com colunas de jet grouting, cada vez mais utilizada para reforço de maciços terrosos, não tem aplicação apropriada no caso de maciços rochosos com significativas passagens de rochas coerentes e de elevada resistência, como é o caso. A utilização de pressões elevadas para a constituição das colunas iria conduzir ao desarranjo do maciço rochoso, sendo o seu efeito final de difícil controle e de problemática eficácia. Razões pelas quais também se considerou que esta não seria solução a reter.

Nessas condições, considerou-se que a solução mais adequada e de menor custo seria a mais convencional, consistindo na execução de uma cortina de furos de injeção de caldas resultantes de misturas de cimento e água e, em certas situações, de aditivos. O projeto de tratamento das fundações que se apresenta é assim baseado nessa solução.

Contudo, tendo em atenção a muito elevada permeabilidade exibida pelo maciço até profundidades em média de cerca de 15 m, resultante, em nossa avaliação, do expressivo fraturamento do maciço rochoso, com fraturas abertas não preenchidas ou preenchidas por materiais facilmente removíveis com água injetada com alguma pressão, considerou-se que, para tornar eficiente a cortina de injeções e evitar que as caldas injetadas percorressem distâncias apreciáveis em relação ao alinhamento da cortina, seria necessário executar duas cortinas de contenção, uma de cada lado da cortina de injeção, até aquelas profundidades.

Essas duas cortinas de contenção, na maior parte da sua extensão com cerca de 15 metros de profundidade, serão executadas previamente e em alinhamentos paralelos e exteriores à cortina de injeções, com recurso à injeção de caldas mais espessas, se necessário com aditivo fluidificante, mas de pega rápida. O espaçamento entre furos no alinhamento de cada cortina de contenção será o que assegura um preenchimento continuado das fraturas do maciço rochoso com as caldas injetadas.

Executadas essas cortinas exteriores de contenção, cujos alinhamentos ficarão afastados entre si de 4,5 m, estarão criadas as condições para se proceder à injeção das caldas da cortina de impermeabilização alinhada entre as duas de contenção. É expectável que as injeções de impermeabilização, com caldas mais fluidas e pressões mais elevadas, concentrem a penetração das caldas nas fraturas localizadas preferencialmente nessa banda, contribuindo dessa forma para uma redução drástica da permeabilidade do maciço rochoso e para um comportamento hidráulico satisfatório. Essas mesmas caldas não terão em vista penetrar nos poros das rochas mais brandas e de matriz mais fina, dado se considerar que a percolação através deles terá pouco significado para o comportamento hidráulico da fundação.

Uma consideração final relativa à eventual utilização de uma galeria de injeção a construir num cut-off escavado entre os alinhamentos das cortinas de contenção. Reconhecem-se várias vantagens na existência de uma galeria de injeção em barragens de altura superior a 40 m, quer durante a construção do aterro da barragem (que nessas condições pode ser executado em simultâneo com o tratamento do maciço de fundação), quer para posterior inspeção da barragem, na fase de operação do reservatório, e ainda para a execução de eventuais reforços do tratamento da fundação ao longo da vida da obra, sem que os furos de injeção tenham que atravessar toda a altura de aterro até atingirem o maciço rochoso. Analisada a situação da barragem de Lontras, essa galeria teria uma extensão total de cerca de 1.150 m, praticamente igual à extensão da barragem.

Tendo em atenção o custo adicional correspondente à construção da galeria de injeção, em concreto armado com altura de 3,0m e largura de 2,0 m, foi decidido abandonar essa solução e projetar o tratamento de impermeabilização a partir de um plinto construído na base de um cut-off, escavado sob o núcleo.

5.4.2. Tratamento da fundação

Levando em conta as características geológicas e hidrogeológicas do maciço de fundação da barragem e do vertedouro, considerou-se indispensável proceder ao seu tratamento, visando reduzir significativamente a permeabilidade dos respetivos terrenos.

A descrição detalhada das condições geológicas do local do barramento encontra-se no item Estudos Geológicos e Geotécnicos. Nele figura a descrição litológica e estrutural do complexo sedimentar da Formação Serra Grande, compreendendo arenitos finos a grosseiros com intercalações de estratos de espessura reduzida de siltitos e argilitos, que constitui o maciço de fundação, bem como considerações sobre a morfologia da região. Nele figura a descrição dos estudos geofísicos realizados na ombreira direita que evidenciam um lineamento geológico de falhamento associado à presença do dique de rocha básica identificado nas sondagens SM-09 e SM-23.

Da análise dos dados de campo e dos testemunhos das sondagens executadas no alinhamento da barragem e dos resultados dos ensaios de perda de água, até cerca de 30 metros de profundidade, conclui-se que, no geral, os terrenos da fundação ocorrem apreciavelmente fraturados, apresentando-se fragmentados e alterados nos primeiros metros, em decorrência do intemperismo que afeta todos os níveis litológicos. Considerando-se que a matriz dos arenitos em especial dos coerentes, dos siltitos e dos argilitos exibe reduzida permeabilidade, as elevadas perdas de água nos ensaios no interior dos furos de sondagem resultam da presença de descontinuidades com maior ou menor

abertura. Neste complexo, as descontinuidades são essencialmente resultantes da estratificação, de juntas de alívio e do diaclasamento tectônico.

Os ensaios de perda de água permitem concluir que, apesar da heterogeneidade, o maciço de fundação exhibe elevada permeabilidade em toda a extensão da barragem e, por vezes, até à profundidade atingida pelas sondagens. Essa constatação é também evidenciada pela posição do nível de água no interior dos furos de sondagem. Com efeito, o nível de água no maciço rochoso tem um andamento, em geral, quase horizontal, correspondente ao nível de água na calha do rio (Figura 5.3), não tendo sido encontrado nas sondagens executadas nas estacas em cotas iguais ou superiores a 500,00.

A estrutura do complexo sedimentar caracteriza-se por uma atitude em geral sub-horizontal dos estratos, com mergulhos que não ultrapassam em regra 20°, podendo atingir cerca de 40° em resultado da ocorrência em alguns estratos de estratificação cruzada e por descontinuidades em geral rugosas, orientações variadas e mergulhos mais frequentes entre 70 e 75°, por vezes 45 a 50°. As sondagens SM-09 (estaca 12 no eixo) e SM-23 (estaca 12 - 60 m jusante) atravessaram, como já referido, um corpo de rocha ígnea extrusiva, possivelmente diabásio. Foi considerado como mais provável tratar-se de um dique intrudido nos sedimentos que constituem o maciço rochoso de fundação, tendo os resultados da prospecção geofísica levado a considerar que essa estrutura terá um alinhamento montante-jusante e uma espessura da ordem da dezena de metros. Acresce que a sua intrusão provocou significativa perturbação nas rochas sedimentares envolventes, provavelmente em cerca de duas a três dezenas de metros para cada lado do dique. Essa perturbação parece atingir a dúzia de metros em profundidade. Essa ocorrência implica a necessidade de a superfície de fundação ser afundada da ordem da dezena de metros, em média, numa extensão total de cerca de 100 m, aproximadamente entre as estacas 9 e 14.

O complexo rochoso encontra-se recoberto por uma camada de solo essencialmente arenoso e por vezes siltoso e rocha muito fragmentada, com espessura variável, sendo frequente de 1 a 2 metros. Na parte inferior de ambas as ombreiras o maciço rochoso ocorre recoberto por solos com fragmentos rochosos que poderão corresponder a terraços aluvionares com espessuras que atingem cerca de 3,0 m (3,5 m na sondagem SM-13). Atendendo a que se trata de uma barragem de aterro de cerca de 60 m de altura máxima, a remoção desse material com a lâmina de um trator (bulldozer) será suficiente para definir uma superfície de fundação adequada à estabilidade da obra. Na calha do rio há que remover a totalidade das aluviões, incluindo os blocos areníticos de apreciáveis dimensões.

O tratamento do maciço de fundação é fundamentalmente de impermeabilização e, pelas razões apontadas na introdução, ele consistirá essencialmente na execução de uma cortina ao longo de toda a extensão da barragem e do vertedouro. As profundidades dos furos são de 30 m em grande extensão da barragem, entre as estacas 10 e 53, reduzindo-se essa profundidade até 15 m sob o vertedouro e na parte superior das ombreiras, onde a altura da água será bem menor, como se mostra nos desenhos de “Cortina de Injeção” do Tomo 2-Desenhos.

Figura 5.4 - Nível de Água no interior dos Furos de Sondagem

Os trabalhos iniciar-se-ão pela escavação de um cut-off na base do núcleo, na vertical do coroamento da barragem, com cerca de 2 a 3 m de profundidade e com uma largura na base de 6 m. Os taludes de escavação terão inclinação de 1:2 (v:h) para criar condições para uma boa compactação do aterro no seu interior. A escavação da rocha até essa profundidade (em geral alterada e muito fraturada) será facilmente conseguida com ripper não sendo necessário, em princípio, recorrer à utilização de explosivos. As superfícies dos taludes de escavação e de trechos de 5 m para cada lado serão regularizadas com camada de 0,10 m de espessura de concreto projetado, visando assegurar boas condições para a compactação do solo no interior do cut-off. A base da trincheira será recoberta por uma laje de concreto simples com $F_{ck} = 20\text{MPa}$ (plinto), com cerca de 1 m de espessura, cuja finalidade é permitir instalar em boas condições o obturador usado na injeção das caldas no primeiro trecho dos furos e ainda contribuir com ligeira contra-pressão quando da injeção nos furos das cortinas.

A partir da base do cut-off serão executadas, numa primeira fase, duas cortinas de contenção, afastadas entre si de 4,5 m, atingindo 15 m de profundidade em toda a extensão da barragem, (com exceção do trecho entre aproximadamente as estacas 9 e 14 onde as cortinas terão apenas 10 m de profundidade, em virtude da escavação adicional que será realizada nessa zona) profundidades essas correspondente à espessura do maciço que exibiu grandes absorções e perda de água total nos ensaios de perda de água. Apesar da existência da laje de concreto, acima mencionada, a pressão de injeção das caldas a utilizar nessas cortinas nos primeiros metros de furação será moderada (2 a 3 Kg/cm^2) para não contribuir para a descompressão do maciço rochoso. Os furos das cortinas de contenção serão executados com diâmetro de 4" com equipamento rotopercussivo, afastados 3m uns dos outros. Os trechos a injetar terão comprimento de 5 m, cada. Essas caldas, à base de misturas de água e cimento, deverão ser suficientemente espessas para penetrarem nas fraturas num raio de pequena dimensão, visando constituir um anteparo (contenção) às injeções de caldas mais fluidas que posteriormente irão ser usadas na cortina de impermeabilização. No volume das Especificações Técnicas estão indicados os tipos de caldas e as pressões a utilizar, bem como a sequência da injeção nos furos das cortinas de contenção.

Executadas as duas cortinas de contenção, estão criadas as condições para iniciar a cortina de impermeabilização. Considerou-se que a sua eficácia será conseguida com recurso a duas linhas de injeção afastadas 1,5 m entre si e 1,5 m da correspondente cortina de contenção. Os furos serão executados em quincôncio, visando uma melhor distribuição das caldas tal como no desenho "Cortina de Injeção- Planta baixa e seção" e a sua injeção, em

cada linha, será feita alternadamente usando a técnica de “split spacing”. Primeiro são injetados os furos primários, afastados 12 m uns dos outros, seguidamente os secundários, a meia distância, afastados 6 m dos primários e, se necessário, os furos terciários igualmente a meia distância dos anteriormente executados, com afastamento de 3 m em relação a eles. Os furos da cortina de impermeabilização terão 30 m de comprimento na zona central da barragem , entre as estacas 8 e 53 (atendendo à grande escavação prevista entre as estacas 9 e 14, neste trecho o comprimento dos furos será de cerca de 20 m) , 20 m de comprimento entre as estacas 6 e 8 e 53 a 57 e 15m de comprimento entre as estacas -2 e 6 e 57 a 60+10. Todos eles serão executados com 3” de diâmetro, sendo os **primários alternados** (afastados 24 m) de apenas uma das linhas de injeção executados com sonda rotativa e barrilete duplo para obtenção de testemunhos do terreno e todos os restantes das duas linhas com equipamento rotopercussivo. Nos furos primários alternados executados com sonda rotativa serão realizados ensaios de perda de água com 3 estágios de pressão em trechos de 5 m, em toda a extensão e nos restantes esses ensaios serão realizados apenas no último trecho. Os trechos de injeção de calda têm igualmente 5 m de comprimento. No volume das Especificações Técnicas estão indicados os critérios para a execução dos ensaios de perda de água, bem como os tipos de caldas e as pressões a utilizar, a sequência de execução, o recurso a aditivos, etc.

Nas Especificações Técnicas figuram ainda os critérios que devem ser seguidos para se aquilatar a eficácia do tratamento de impermeabilização. As ações correspondentes devem ocorrer **na fase de execução das injeções** (redução progressiva de perda de água e de tomada de cimento nos furos subsequentes), **após serem dadas por terminadas as injeções** (através da execução de alguns furos de sondagem rotativos com orientação diferente da dos furos da cortina, acompanhados de ensaios de perda de água) e **após terminarem as obras**, na fase de enchimento do reservatório e sua posterior operação (auscultação com piezômetros hidráulicos no maciço rochoso, nas mesmas seções transversais onde serão instalados outros piezômetros para avaliação do comportamento do aterro do núcleo e com medidores de vazão localizados no pé da barragem, na calha do rio Inhuçu e nas ombreiras da barragem, a meia altura).

Os furos das cortinas de contenção e da cortina de impermeabilização serão verticais, o que simplifica a sua execução. Tal é compatível com a estrutura geológica do maciço rochoso, caracterizada, como já referido, por estratos com mergulhos de 10° a 20° e famílias de diaclases com variadas orientações e mergulhos mais frequentes da ordem de 70 a 75°, por vezes 45°. Na zona perturbada pelo dique de diabásio, prevê-se a possibilidade de fazer um tratamento específico, com recurso a furos inclinados (30° a 45° com a vertical), visando o

atravessamento da rocha ígnea e o seu mais eficaz tratamento de impermeabilização. Tal tratamento específico, contudo, só poderá ser detalhado no decorrer dos trabalhos, em função da natureza e da estrutura do maciço que virá a constituir a fundação da barragem, após a expressiva escavação prevista para essa zona. Nos desenhos do projeto (Tomo 2) figura um esquema desse tratamento que visa sobretudo atuar no caso de ocorrência de fraturas verticais, dificilmente tratadas com os furos verticais previstos para a cortina de impermeabilização.

Atendendo à natureza das formações e à heterogeneidade do maciço rochoso, considera-se essencial anteceder os trabalhos do tratamento da fundação pela execução de duas cortinas experimentais, afastadas uma da outra, localizadas nos alinhamentos das cortinas, escolhidos de acordo com os resultados das sondagens realizadas. Em princípio, pelas razões anteriormente apontadas, uma dessas cortinas experimentais deverá localizar-se entre as estacas 24 e 28, zona onde o maciço rochoso de fundação da barragem parece ser mais permeável até as profundidades ensaiadas, e a outra entre as estacas 40 e 44, zona onde o maciço rochoso se exhibe bastante menos permeável em toda a profundidade ensaiada, abaixo dos 5 metros superficiais do terreno natural. Com a execução dessas cortinas experimentais pretende-se testar a penetrabilidade das várias caldas, face às pressões de injeção, o equipamento de ensaio de perda de água e de injeção das caldas, bem como outros procedimentos recomendados no projeto.

As Especificações Técnicas têm indicações para boa execução dos trabalhos e critérios de aceitação da sua qualidade.

Um detalhe que merece atenção na escavação da fundação, diz respeito à região compreendida entre o limite da zona da escavação do corpo de rocha básica extrusiva (provavelmente estaca 14) e a estaca 18, onde se faz necessária uma escavação rochosa com fogo controlado, em toda região sob o núcleo e espaldar jusante da barragem, para propiciar o escoamento das águas coletada pelo tapete drenante, na direção do leito do rio. Esta escavação é necessária para evitar o “afogamento” do sistema de drenagem horizontal situado dentro da zona da escavação da rocha básica e, conseqüentemente, da saturação do solo do núcleo argiloso. Nos desenhos das seções transversais e no perfil geológico, apresentados no Tomo 2- Desenhos são mostrados detalhes desta escavação rochosa, que alcançará cerca de 4,0 de profundidade.

Em síntese pode-se relacionar os principais serviços previstos para a fundação da barragem, como:

- escavação da cobertura de solo e rochas incoerentes/pouco coerentes e muito fraturadas com lamina de trator de esteiras;
- escavação da rocha coerente, com fogo controlado, da fundação do núcleo e espaldar de jusante, no trecho compreendido aproximadamente entre estacas 14 e 18;
- escavação do cut-off central em rocha coerente muito fraturada com uso contínuo de escarificadores (ripper);
- construção de uma laje de concreto no fundo do cut-off (plinto) e jateamento de concreto nos taludes e 5,0 m para cada lado;
- execução de duas linhas de cortina de contenção ao longo de toda a barragem e sangradouro;
- execução de duas linhas de cortina de impermeabilização.

5.5. MACIÇO DA BARRAGEM

Este item tem a finalidade de descrever com detalhes a seção tipo adotada para a Barragem Lontras que apresenta as seguintes características:

a) Cota e Largura da Crista

A cota do reservatório máximo normal foi definida com base nos estudos hidrológicos, que definiram o volume de acumulação mais apropriado para o reservatório e a condição de não transbordamento para a situação de cheia milenar associada a ação das ondas do reservatório. A cota do sangradouro foi, portanto, definida em 535,00 m, acumulando um volume de 347,13 hm³. A partir da definição da cota da soleira e das informações hidrológicas sobre a lâmina milenar e decamilenar foi determinada a altura da onda, em função do fecht, e a partir daí calculou-se a folga. Considerando a lâmina da cheia milenar obteve-se a revanche $R = 4,39$ m, valor este que acarretou na escolha da cota de coroamento de 540,00 m. Este valor foi verificado para a cheia decamilenar acrescida de uma proteção adicional de 0,50 m e mostrou-se seguro.

A largura do coroamento foi determinada pela fórmula de Preece e se obteve um valor próximo a 9,00m, tendo este sendo adotado. A seção transversal apresenta um caimento de 2% para montante. A camada final com 0,30cm de espessura será executada com material pétreo de “fundo de pedreira” ou cascalho areno argiloso compactado. Nos limites dos bordos serão colocados meios-fios moldados “in situ” com saída d’água para montante, espaçadas de 20,00m em 20,00m.

No contato do maciço da barragem com o muro do sangradouro será implantada uma proteção do tipo guarda corpo tubular com aço inoxidável.

b) Zoneamento da seção da barragem

A Barragem Lontras constitui-se de uma seção mista, com o maciço de montante constituído integralmente por solo silto-argiloso com blocos até 0,20m de diâmetro, encostando ao núcleo argiloso com uma inclinação de 1:0,25 (v:h), que encosta a um filtro chaminé com uma inclinação de cerca de 1:0,35(v:h), e ao maciço de jusante constituído por enrocamento desejavelmente de blocos de arenito coerente a muito coerente, em parte resultante dos produtos da escavação prevista para a instalação do sangradouro e em parte da exploração da pedreira P 01. Considerando que o maciço de montante (solo fino com blocos) não assegura um grau de impermeabilidade satisfatório, idealizou-se um tapete impermeável, unido ao núcleo argiloso, com cerca de 2,4 m de espessura, subjacente a esse maciço em toda a sua extensão.

A Seção Tipo, no local de maior altura da barragem, é apresentada graficamente no Tomo 2-Desenhos.

c) Materiais construtivos naturais a serem empregados

Para a execução do espaldar de montante serão utilizados os solos das jazidas J01, J02, J02 A, J03, J03 A, J04 e J04 A, admitindo-se a presença de blocos de rocha arenítica coerente de até 0,20m de diâmetro. A Jazida J05 funcionará como reserva e só deverá ser utilizada caso aconteça o esgotamento de todas as jazidas anteriores.

O núcleo central e o tapete interno impermeável de montante serão construídos com solos das jazidas J-08 e J-09, que atenderem as regulamentações das Especificações Técnicas.

O espaldar de jusante, constituído de enrocamento, serão realizados com as rochas areníticas provenientes das escavações obrigatórias e da exploração da pedreira P-01, selecionadas de forma que atendam completamente as regulamentações das Especificações Técnicas. A transição grossa deverá ser realizada com material pétreo da mesma origem que os do espaldar de jusante, porem com granulometria distinta.

A rocha britada de origem gnáissica, proveniente da Pedreira P 02, será utilizada para a realização da camada de transição fina e para agregado dos concretos previstos nas estruturas.

A areia extraída do leito do rio Jatobá, que atenda as imposições técnicas estabelecidas nas Especificações Técnicas, será empregada no sistema de filtros e drenos e como agregado miúdo dos concretos.

d) Espaldar de Montante

O espaldar de montante, formado de solo com blocos de até 0,20 m, compactados em camadas de até 0,40 m de espessura, foi concebido com um talude inclinado de 1:2,5 (V:H), desde o coroamento (na cota 540,00) até o nível referente a cota 515,00, prosseguindo entre as cotas 515,00 e 500,00 com inclinação de 1:3,0 (V:H) e da cota 500,00 até a fundação com inclinação de 1:3,5 (V:H). Este espaldar se limita na parte inferior com o tapete impermeável interno, sobreposto à fundação. Para jusante se limita com o talude do núcleo central argiloso e para montante com o sistema de proteção contra ondas (rip-rap).

e) Núcleo Central

Como elemento de vedação do maciço da barragem, idealizou-se um núcleo central construído com material argiloso selecionado das jazidas J-08 e J-09 e em conformidade com as especificações técnicas previstas. O núcleo central tem o topo situado 0,30 m abaixo do coroamento da barragem, com o bordo montante situado na mesma vertical do bordo final da barragem e o bordo de jusante numa vertical que cruza o coroamento a 0,40 m do bordo jusante final da barragem. Desta forma o topo do núcleo possuirá uma largura de 8,60 m.

A partir do bordo montante do núcleo o talude se desenvolverá com uma inclinação de 1(V):0,25(H) e partir do bordo jusante com um talude de 1(V):0,35(H). Junto à fundação e no sentido de montante, o núcleo une-se de forma monolítica com o tapete impermeável interno. Na parte central o núcleo se aprofundará na fundação até atingir o estrato rochoso não removível com escarificação, formando um cut-off com largura de base de 6,0 m e taludes 1:2,0 (V:H).

A faixa granulométrica do solo compactado do núcleo foi obtida pelos máximos e mínimos dos resultados médios dos ensaios de granulometria por peneiramento e dos ensaios de granulometria por sedimentação realizados em amostras das jazidas J-09 e J-10, a qual é apresentada no **Quadro 5.1**.

Quadro 5.1 - Faixa Granulométrica do Solo do Núcleo

#	(mm)	Faixa
2"	50,8	100
1"	25,4	100
3/8"	9,5	100
Nº4	4,8	96-100
Nº10	2,0	82-100
Nº40	0,42	68-91
Nº200	0,074	31-67

f) Tapete impermeável interno

Para assegurar um elevado grau de impermeabilidade na zona do espaldar de montante da barragem, proporcionando uma redução do gradiente hidráulico de saída dos fluxos infiltrados pela fundação, idealizou-se um tapete impermeável com cerca de 2,4 m de espessura, sobrejacente ao topo rochoso exposto pela escavação da fundação do maciço, unido ao núcleo argiloso e estendendo-se para montante até o rip-rap. Este tapete deverá ser executado com o mesmo material do núcleo central, ou seja, solos selecionados das jazidas J-08 e J-09.

g) Espaldar de Jusante

O maciço de enrocamento, que forma o espaldar de jusante da barragem, foi concebido com um talude contínuo com inclinação de 1: 2,0 (V:H), desde o coroamento (na cota 540,00) até o nível da fundação. Este maciço se limita na parte inferior com a transição grossa, que se sobrepõe a transição fina e ao tapete drenante/filtrante da fundação. Para montante se limita com a transição grossa que repousa sobre o talude do núcleo central argiloso.

No talude do enrocamento, na altura da cota 515,00, será executada uma berma de 2,0 m de largura, em toda a extensão da barragem, com a finalidade de abrigar alguns instrumentos de auscultação geotécnica e permitir o acesso aos mesmos para inspeções e medições.

O material do enrocamento de jusante deve obedecer às indicações das Especificações Técnicas, cuja faixa granulométrica é apresentada no **Quadro 5.2** a seguir:

Quadro 5.2 - Faixa Granulométrica do Enrocamento

Diâmetro/ Peneira	D100 (mm)	D50 (mm)	Nº 200 (%)	Nº 10 (%)
Faixa	250-600	150-250	0-10	0-20

h) Filtro Vertical

Está prevista a execução de um filtro do tipo chaminé, com inclinação de 1: 0,35 (V:H) para jusante do núcleo central, como parte do sistema de drenagem interna, com 1,5 m de espessura de areia de rio até a cota 534,50 e daí até a base do revestimento do coroamento com 0,5 m. Previu-se o uso neste local do material a ser retirado na calha do rios Jatobá, que se enquadre nas Especificações Técnicas e cuja granulometria se encaixe na faixa especificada no **Quadro 5.3**.

Quadro 5.3 - Faixa Granulométrica do Filtro Vertical

Peneira	2"	1"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200
Faixa em % passante	100	79-100	52-100	53-98	8-78	0-44	0-4

i) Tapete Drenante/filtrante

Para receber as águas do filtro vertical e da fundação está previsto a execução de um tapete drenante de areia, com altura de 1,5 m, em todo o contato do espaldar de jusante com a fundação tratada, exceto nos seus últimos 4,0 m. Este tapete deverá se estender por toda a extensão da barragem. O material de sua confecção deverá se enquadrar na mesma faixa granulométrica do **Quadro 5.3** e obedecer às prescrições das Especificações Técnicas.

j) Transição Fina

Como parte do sistema de transição entre o filtro vertical e tapete drenante/drenante com o espaldar de enrocamento, previu-se uma camada de 0,50 m de espessura ou altura, constituída de agregado de rocha gnáissica britada com granulometria dentro da faixa discriminada no **Quadro 5.4** e que atenda as prescrições das Especificações Técnicas.

Quadro 5.4 - Faixa Granulométrica de Transição Fina

Peneira	2"	1"	3/8"	Nº4	Nº10
Faixa em % passante	100	55-100	0-59	0-33	0

k) Transição Grossa

Finalmente, concluindo o sistema de transição, foi prevista a execução de uma camada de transição grossa em contato com toda a superfície da transição fina e com o enrocamento do espaldar jusante, com espessura ou altura de 1,50 m. A transição grossa só não será realizada acima da cota 535,00. A prancha de Seção Tipo, apresentada no Tomo 2-Desenhos detalha a geometria desta transição.

O material que constituirá a transição grossa deve obedecer às prescrições das Especificações Técnicas e enquadrar-se na faixa granulométrica apontada no **quadro 5.5**.

Quadro 5.5 - Faixa Granulométrica de Transição Grossa

Peneira	Dmax	D50	Dmin
Faixa (mm)	80-200	30-100	10-30

l) Proteção do talude montante (rip-rap)

Com a finalidade de proteger o talude do espaldar de montante contra a ação erosiva das ondas do futuro reservatório, concebeu-se uma proteção de enrocamento (rip rap) de rocha arenítica proveniente das escavações obrigatórias, espalhada por toda a superfície do referido talude. O rip rap consiste de uma camada de 0,70 m de espessura, formada de blocos com diâmetro máximo de 0,60 m e diâmetro 50% de 0,40 m, sobreposta a uma camada de transição fina (brita gnáissica) de 0,30 m de espessura, que por sua vez repousa sobre uma camada de 0,30 m de areia do rio Jatobá, esta ultima colocada em contato direto com o talude de solo.

m) Revestimento do Coroamento

O coroamento da barragem, em toda a sua extensão e largura, será revestido com uma espessura de 0,30 m de material de “finos de pedra” (pó de pedra misturado com fragmentos rochosos obtidos nas escavações rochosas). Este material deverá ser umidificado e compactado de forma a propiciar uma superfície lisa e regular que suporte as cargas dos veículos de manutenção, sem deformações, afundamentos ou desagregações.

5.6. INSTRUMENTAÇÃO

O projeto de instrumentação foi desenvolvido com as seguintes finalidades:

- Verificar as pressões neutras nas fundações da barragem;
- Verificação dos deslocamentos da barragem;
- Verificação das deformações verticais pós construção
- Verificação do nível d'água no estrato rochoso da região das ombreiras;
- Verificação do nível d'água no reservatório.
- Verificação de Vazão percolante pela fundação e maciço

Inclui-se no sistema de monitorização da barragem, instrumentos que permitam a observação do comportamento hidráulico da sua fundação, na sequência do tratamento que vai ser executado. Com esse objetivo foram considerados piezômetros hidráulicos e medidores de vazão, que deverão ser integrados no Plano de Auscultação de toda a obra.

Em relação aos piezômetros de monitoramento do tratamento da fundação, eles ficarão colocados no maciço rochoso de fundação e no interior do núcleo.

Preconiza-se a realização de um furo situado a montante da cortina de contenção, com um piezômetro no maciço rochoso, aproximadamente a 10,0 m abaixo topo do plinto e outro no núcleo central, situado próximo do terço superior da coluna d'água prevista na seção. Um segundo furo da seção instrumentada situa-se a jusante da cortina, com um piezômetro no maciço rochoso, aproximadamente a 5,0 m abaixo topo do plinto e outro no núcleo central, situado próximo do terço inferior da coluna d'água prevista na seção. Estes dois furos serão realizados após a conclusão do aterro da barragem, nos bordos do coroamento.

Um terceiro e ultimo furo na seção deverá ser realizado na berma do talude jusante, a partir da cota 515,00, onde se prevê um piezômetro a 10,0 m abaixo do topo fundação rochosa e outro a 2,0 m abaixo desse mesmo topo. Para a instalação destes piezômetros, sob o maciço

estabilizador de enrocamento, deverá ser colocada a tubagem de revestimento antes da colocação do enrocamento, dada a dificuldade de executar os furos através dos blocos desse maciço.

Considerando a extensão da barragem, a sua altura e a natureza do maciço de fundação, considerou-se a necessidade do Plano de Auscultação contemplar a instrumentação de 12 seções transversais, localizadas uma na calha do rio, cinco na ombreira esquerda, e seis na ombreira direita. Na ombreira direita uma seção contempla a zona afetada pela intrusão do dique diabásico.

Portanto, as seções instrumentadas com piezômetros foram as das estacas 9+10,00; 12; 14; 18; 24; 28; 32; 36; 40; 44; 50 e 54.

A verificação do deslocamento superficial da barragem será feito colocando marcos superficiais, referenciados a bench marks, para medidas de deslocamento vertical após a fase construtiva. Os marcos de superfície serão colocados no coroamento da barragem e totalizam 24 unidades. A posição da cada marco pode ser visualizado em planta nas pranchas do Tomo 2- Desenhos.

Para a medição dos deslocamentos horizontais do maciço e conseqüentemente para a avaliação da estabilidade dos taludes da barragem, considerou-se necessária a instalação de inclinômetros verticais em 3 seções, sendo 2 instrumentos por seção. Uma seção é na estaca 12+10,00 onde ocorre a intrusão do dique diabásico, outra é a seção 32+10,00 na zona de maior altura do aterro e a ultima, na ombreira esquerda, corresponde a estaca 52+10,00 que se encontra na vizinhança do conduto da tomada d'água. Os inclinômetros serão implantados após a construção do aterro, junto aos bordos montante e jusante do coroamento

Para a verificação de eventual percolação pelos extratos areníticos nas esbeltas ombreiras foram indicados 03 medidores de nível d'água, em cada uma, sendo na ombreira esquerda um localizado acima da ultima estaca do barragem e os outros 2 posicionados imediatamente a jusante da barragem. Na ombreira direita os 3 estarão situados a jusante da barragem.

A verificação do nível do reservatório será feita colocando-se réguas linimétricas em um dos pilares da torre da tomada d'água, de forma a ser visível a partir do coroamento da barragem.

Em relação aos medidores de vazão, serão construídos três instrumentos colocados à saída dos drenos, um no fundo da calha do rio Inhuçu, que deverá coletar as surgências da ombreira direita e na zona do leito do rio, e dois outros na ombreira esquerda. Na localização dos medidores de vazão se considerou que o caudal interceptado pelo sistema

interno de drenagem escoará a jusante do pé da barragem, junto ao talude jusante da escavação da fundação, no sentido ombreiras- leito do rio. Para evitar que este fluxo ficasse retido na zona de escavação da intrusão do dique diabásico, foi prevista a escavação de parte do estrato rochoso arenítico à esquerda desta intrusão.

5.7. SANGRADOURO

5.7.1. Canal de Aproximação

Concebeu-se o sistema de sangria composto de um canal de aproximação, um muro em perfil Creager, um primeiro trecho em rápido que descarrega em uma primeira bacia de dissipação, um segundo trecho em rápido, descarregando numa segunda bacia de dissipação e um trecho plano que desagua no leito do rio Inhuçu.

O Canal de aproximação tem uma largura de 80 m e extensão pelo eixo central de aproximadamente 123 m. Este canal teve seu eixo estaqueado com o ponto de partida (estaca M0) situado no eixo do muro Creager e crescente no sentido de montante. Em planta ele apresenta um trecho retilíneo desde a estaca M0 até M1+6,52, quando se inicia uma curva com raio 206,59 m e 116,79 m de desenvolvimento. No entanto, pelo eixo a cota da soleira do canal é alcançada na estaca 6+3,00. Todo o fundo do canal de aproximação foi previsto na cota 532,00, sendo revestido por uma laje de concreto no trecho que vai do muro Creager até a estaca M5+10.

O canal de aproximação, por suas baixas velocidades e a formação de um lago de cerca de 3 metros de profundidade, foi revestimento em um trecho parcial para aumentar o caminhamento de possíveis percolações pela fundação e, portanto, diminuir os gradientes hidráulicos sob o muro Creager.

A laje do canal de aproximação foi dimensionada em concreto armado com $F_{ck} = 30\text{Mpa}$, com uma espessura de 0,40 m, dotada de juntas longitudinais porém, não chumbada e sem dispositivo de drenagem.

Esta laje limita a extensão dos muros laterais de montante (tipo AA). O muro do lado esquerdo contém o maciço da barragem e segue para montante, totalizando uma extensão a partir do Creager de 94,13 m, o muro do lado direito protege o corte no terreno natural e tem uma extensão de 126,19 m, a partir do muro Creager.

Na extremidade montante da laje previu-se um redente de concreto simples, solidarizado à laje, com espessura de 0,50 m e aprofundando-se no substrato rochoso 1,50 m, a partir da base da mesma.

Os muros laterais que limitam o canal de aproximação são estruturas de concreto armado ($F_{ck}=30\text{MPa}$), com seção transversal semelhante a um T invertido, com altura variável em função da lamina de escoamento, calculada para uma recorrência de 1.000 anos, e da contenção do maciço da barragem. Os muros deste canal abrangem 2 tipos distintos, denominados de AA e BB.

5.7.2. Muro de Vertimento do Sangradouro

O muro do sangradouro tem um perfil do tipo Creager, com ogiva na cota 535,00 e extensão total de 80,00 m. O muro esta previsto com fundação na cota 531,50, em rocha. O Creager estará ladeado de muros que pelo lado esquerdo contem o maciço da barragem e pelo lado direito o corte no terreno natural.

De forma geral, a seção do muro Creager constitui-se de um núcleo construído com concreto ciclópico, revestido com concreto simples de $F_{ck}= 30 \text{ Mpa}$, numa espessura típica de 0,50 m. O desenho apresentado no Tomo 2 detalha a seção deste muro.

No contato com os muros laterais serão construídas juntas de dilatação vedadas com juntas Fugenband do tipo O-22, assim como ao longo do corpo do Creager, estas ultimas com espaçamento de 10,0 m. As juntas centrais estarão alinhadas com as juntas da laje dos canais e as estas se conectarão pela parte de jusante (pé do Creager). As juntas no contato com os muros laterais serão engastadas na sapata dos muros e, portanto não prosseguirão para jusante. Pela face montante do Creager todas elas se prolongarão ate o contato com a fundação.

No contato do muro Creager com as lajes dos canais de aproximação e restituição serão construídas juntas Fugenband, cujas extremidades serão engastadas nas sapatas dos muros laterais.

5.7.3. Canal de Restituição

A partir do pé o muro Creager desenvolve-se um trecho em canal plano (cota 532,00) revestido por uma laje de concreto de 0,40 m de espessura, até a estaca J01. Em seguida a este trecho plano inicia-se o primeiro rápido, revestido com uma laje de concreto de 0,40 m de espessura, com uma declividade de 11,48 %, por uma extensão correspondente a estaca J13. A partir desta estaca inicia-se a primeira bacia de dissipação de energia.

A primeira bacia compõe-se de um trecho plano (cota 505,00) com uma extensão 50 m (correspondendo a estaca 15+10,00), seguido de uma rampa ascendente de 5% numa extensão de 40 m, que termina num trecho plano de 50 m de extensão (correspondente a estaca J20).

A partir deste ultimo trecho plano (estaca J20 e cota 507,00) inicia-se o segundo rápido, com uma declividade de 10,68% e numa extensão correspondendo a estaca J31, onde se conecta a segunda bacia de dissipação, na cota 484,00. Esta segunda bacia compõe-se de um trecho plano de 50 m (correspondendo a estaca J33+10), seguido de uma rampa ascende de 5% por uma extensão de 40 m (estaca J35+10,00) e que termina num trecho plano de cerca de 40 m (estaca 37+9,98 e cota 486,00). Após este trecho plano segue um trecho de enrocamento de Dmédio de 0,50 m, que protege o fundo do rio e as margens esquerda e direita da ação do caudal de sangria.

Do perfil Creager até o inicio do enrocamento, o canal de restituição do sangradouro é revestido por laje de concreto armado, dotada de um sistema de ancoragem passiva (chumbadores), drenagem no contato com a fundação e confinado por muros laterais de concreto armado, de altura variável e compatível com a altura da lamina de escoamento definida nos cálculos hidráulicos.

A necessidade de revestimento da fundação do canal do sangradouro foi evidenciada através das sondagens realizadas na área do sangradouro, que evidenciaram a presença de intercalações de argilitos pouco coerente e pouco resistente no seio do maciço de rocha arenítica. Este material não apresenta características físicas de resistência a erosão provocada por laminas d'água com velocidade, mesmo baixa. Por esta razão houve, por motivo de segurança do sistema, a decisão de revestir o canal de restituição do sangradouro.

Nos dois rápidos (J01-J13 e J20-J31) e no trecho plano que parte do pé do muro Creager, a laje de revestimento foi dimensionada com uma espessura de 0,40 m, com chumbadores de ferro redondo de 32 mm, com um comprimento de 6,0 m e num espaçamento de 2,5 por 2,5 m.

As demais lajes que compõem o sistema das bacias de dissipação (J13-J20 e J31-J37+9,98) foram dimensionadas com uma espessura de 0,50 m, com chumbadores semelhantes porem, com comprimento de 12,0 m.

Os muros laterais que limitam o canal de restituição são estruturas de concreto armado ($F_{ck}=30\text{MPa}$), com seção transversal semelhante a um T invertido, com altura variável em função da lamina de escoamento, calculada para uma recorrência de 1.000 anos, e que abrangem 7 tipos distintos, denominados de BB,CC,DD,EE,FF,GG e HH.

5.7.4. Juntas de Dilatação

Na laje dos canais de aproximação e restituição serão construídas juntas longitudinais em toda a extensão destes, sendo as extremas no contato das sapatas dos muros laterais com

as lajes e as demais, na região central das lajes, num espaçamento de 10 m. Juntas transversais serão implantadas no contato da laje montante com a face do Creager, no contato da laje de jusante com o pé do Creager, nos pontos da laje jusante onde ocorrem mudanças de inclinação e ao longo dos rápidos.

As juntas longitudinais totalizam 9 unidades enquanto as transversais são 12 unidades.

Nos muros laterais ao sangradouro serão realizadas juntas que se desenvolverão verticalmente pela face e horizontalmente pela sapata, localizadas nos pontos de encontro de tipos distintos de muros e em espaçamento regulares de 20 m (predominantemente coincidente com o estaqueamento inteiro).

As juntas do concreto serão vedadas com juntas termoplásticas de PVC de 22 cm de largura, do tipo Fugenband O-22.

5.7.5 Sistema de Drenagem

Abaixo da laje de revestimentos do canal de restituição, próximos das juntas longitudinais serão construídos drenos que objetivam coletar fluxos d'água e combater a subpressão que estes fluxos exerceriam na laje. Os drenos são do tipo espinha de peixe, cujas linhas principais correm paralelas as juntas longitudinais (ou seja espaçadas de 10 m), recebendo, cada principal, linhas secundárias que formam um ângulo de chegada de 45%, apontadas para a direção do fluxo. Estas linhas secundárias chegam às linhas principais num intervalo típico de 20 m.

A seção de dreno, escavada na fundação, tem 0,50 m de altura por 0,50 m de largura, e é preenchida por material britado sem finos e envolvida externamente por um geotêxtil, tipo Bidin OP-40. Internamente à camada de brita transcorre um tubo de dreno PEAD de 150 mm de diâmetro, do tipo Kanonet.

Os drenos que transcorrem pelo primeiro rápido e primeira bacia de dissipação descarregarão em um primeiro dreno coletor situado na estaca J14+5,00. Este dreno coletor consiste numa seção de largura de 1,00 m e altura mínima de 0,60 m, preenchida de material britado sem finos e envolvida externamente por uma manta de geotêxtil. Internamente este coletor tem 2 tubos drenantes de 200 mm, que caem 0,5%, a partir do ponto central da laje, para cada lado (no sentido dos muros laterais) até se unir as caixas coletoras de concreto, de seção externas de 1,30 x 1,00, situadas junto a parte externa das sapatas dos muros laterais. A partir de cada caixa coletora transcorre um condutor formado de tubo de concreto de 400 mm, cuja declividade segue a mesma dos rápidos e, nos trechos planos ou com inclinação contrária, com o mínimo de 0,5%. Este condutor terá

caixas de passagem nos locais de mudanças de declividade, com projeto semelhante as caixas coletoras.

Os drenos espinha de peixe que partem do segundo rápido e da segunda bacia de dissipação descarregarão no segundo dreno coletor, situado na estaca 32+5,00. Este segundo dreno coletor se assemelha ao primeiro em tipo, seção, caimentos e união com as caixas coletoras. Dessas caixas coletoras prosseguirão o condutor de 400 mm ate a descarga na zona do leito do rio.

5.7.6. Escavação do Sangradouro

Importante salientar que para assegurar a preservação das condições de fraturamento atuais do maciço rochoso do sangradouro e da fundação do maciço da barragem, programou-se que será utilizada a técnica de desmonte de rocha com fogo controlado nas regiões laterais da escavação dos canais de aproximação e restituição, numa largura de fundo de 10 m para cada lateral. O mesmo tipo de fogo deve ser utilizado para a escavação de toda a rede de drenagem projetada.

A região central, de 60 m de largura, deverá ser escavada com fogo de avanço, porem utilizando-se de planos de fogo que preservem o maciço rochoso remanescente.

5.7.7. Aterros no Sangradouro

Para a descarga do caudal de sangria no leito do rio Inhuçu, foi previsto um aterro de enrocamento com blocos de rocha arenítica, com diâmetro médio de 0,50 m, na cota 486,00 no trecho entre as estaca J37+9,98 e J39, em seguida com um talude de 1,5:1,0 (H:V) ate a cota 484,00, quando formará um plano de 40 metros nesta cota. A partir do limite desse plano de 40 m se revestirá toda a margem esquerda do rio com um a espessura de 1,0 m deste mesmo enrocamento.

Em algumas regiões do lado esquerdo do canal de restituição, a laje do revestimento estará situada acima do topo rochoso, demandando um aterro para a sustentação da laje e do muro de contenção esquerdo. Este aterro deverá ser executado com concreto ciclópico, conforme é apresentado nas seções apresentadas nos desenhos do sangradouro, constantes do Tomo 2- Desenhos.

5.8. TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água será implantada na estaca 53+0,00. Ela consistirá de um tubo de aço ASTM-36 com diâmetro de $\phi=800$ mm. A tubulação será envolvida por uma estrutura de concreto armado, com altura de 2,00 m e base de 2,20 m, numa extensão de 162 m, formando o que se denominou de galeria da tomada d'água. A montante da galeria a

tubulação se apoia no bloco de sustentação da torre de controle das comportas e a jusante adentra na caixa de acesso aos equipamentos de manutenção e controle e em seguida no bloco da casa de controle das válvulas. O eixo da galeria ficará na cota 508,00 m. O dimensionamento foi feito de forma que na cota 510,0 m, nível do volume de alerta, a galeria retire uma vazão de 1,0 m³/s.

A barragem na cota do volume de alerta estará acumulando um volume de 50,74 hm³, correspondente a 14,6%.

O comando será feito por jusante onde haverá uma válvula dispersora de diâmetro de 600 mm, acionada eletricamente através da casa de válvula, situada em um nível acima desta. Imediatamente a montante da casa de válvulas haverá uma caixa de acesso a equipamentos de manutenção e operação, consistindo de uma válvula borboleta de $\phi=800$ mm, uma junta de desmontagem tipo DRESSER e um dreno da tubulação.

No limite montante da galeria haverá uma entrada por uma grade e uma redução gradual concêntrica com variação em curva parabólica, dimensionado pelos prescritos do “Bureau of Reclamation” contidos no livro “Design of Small Dams”. Para fechar a boca de montante está previsto uma comporta de aço By Pass que será operada por uma viga pescadora eletromecânica a partir de uma casa de comando, situada no ápice da torre de comando.

Esta torre de comando será acessada através do lago por meio de barcaça. A torre possui um sistema de escadas de concreto que permite o acesso desde a base até a casa de comando.

Para combater a pulsação e cavitação após a entrada na tubulação foi dimensionado um tubo de aeração de $\phi=150$ mm de aço ASTM A-36.

Previu-se um canal de aproximação escavado na cota 506,60, com seção trapezoidal de 6,0 m de largura de base e taludes 1(v):1(h), em uma extensão próxima de 50,5 m e dotado de uma curva a direita na sua estaca inicial.

Para a restituição do fluxo da tomada d’água à porção jusante do rio, idealizou-se um canal inicial com largura de 20,0 m e extensão de 10,0 m, que transaciona para uma seção de 6,0 m de largura, que se desenvolve por mais 526 m até desaguar no canal da descarga de fundo. Todo o canal de restituição deverá ser enrocado no fundo e em parte dos taludes, numa espessura de 40 cm. O canal em perfil terá rampas variáveis adaptando-se as condições topográficas do terreno e, em planta, duas curvas horizontais para a direita.

A tomada d’água é detalhada nas pranchas apresentadas no Tomo 2- Desenhos.

5.9. DESCARGA DE FUNDO

Com a finalidade de promover o esvaziamento rápido do reservatório em caráter emergencial, realizar limpeza dos sedimentos acumulados junto ao maciço da barragem e para a renovação das águas mais profundas, que tendem a apresentar maiores concentrações salinas, concebeu-se o projeto de uma estrutura de descarga de fundo.

Esta estrutura, posicionada ortogonalmente a estaca 34+0,00, constitui-se basicamente em duas células de concreto que abrigam um tubo de 1800 mm em cada, com controle de entrada por comportas do tipo “stop log”, acionadas a partir de uma casa de comando situada no topo de uma torre de concreto armado, e controle de operação a jusante através de 04 válvulas dispersoras do tipo “Howell Bunger” de 1000 mm, cada.

O sistema de controle das comportas constitui-se de duas comportas “stop log” de 2,65 x 2,65 m, acionadas por uma viga pescadora que se desloca em um perfil metálico, situada na casa de comando. A casa de comando tem o piso na cota 540,00 m e é apoiada por uma estrutura composta de 18 níveis de vigas, a cada 3,0 m de altura, e quatro pilares, fundados em um bloco de concreto de 6,80 x 12,02 m, que por sua vez esta assente diretamente no substrato rochoso.

A casa de comando das comportas é acessada por lances de escada de concreto posicionados no lado Sudoeste da torre. Para se alcançar estas escadas esta previsto o uso de barcaças (quando necessário o transporte de equipamentos) ou de botes e barcos (quando só transporte de operadores)

A partir do bloco desenvolvem-se para jusante duas linhas de tubos de aço de 1800 mm, com centro na cota 585,40 m, que adentram as células de concreto armado da galeria, que permitem a inspeção e manutenção direta dos tubos. Junto a boca de entrada dos tubos, a galeria é bloqueada por um tamponamento de concreto armado com espessura mínima de 1,90 m.

O conjunto da galeria, que abrigam as duas células, tem laje superior e piso em concreto armado com espessura de 0,80 m, cada. Internamente as paredes externas da galeria são verticais e externamente com inclinação 10:1 (V:H), iniciando-se no topo com 0,80 m de largura e chegando a base com 1,31 m. A parede interna que divide as 2 células tem 0,40 m de largura.

Esta galeria, a partir do bloco de fundação da torre de comando das comportas, tem uma extensão de 300 m e termina na caixa de acesso aos registros e dreno situados na zona

jusante do maciço. Após esta caixa de acesso cada tubo apresenta uma derivação e reduções que, atravessando um robusto bloco de concreto ciclópico, terminam em duas válvulas dispersoras de 1.000 mm. As quatro válvulas dispersoras são acionadas eletricamente a partir de uma casa de comando, encimada sobre o bloco de concreto, com piso na cota 488,10. A casa de comando das válvulas tem acesso ao coroamento da barragem por uma escada de concreto ladeada por guarda corpo de tubo galvanizado.

Com o nível do reservatório na sua cota máxima de operação normal (535,00) e as quatro válvulas dispersoras totalmente abertas, o esvaziamento total do reservatório, até o nível do volume morto- cota 508,00, se daria em cerca de 72 dias.

No quadro seguinte apresenta-se o tempo em dias para o rebaixamento do reservatório a partir do nível máximo de operação normal.

Cota a ser alcançada	Altura do rebaixamento (m)	Tempo para rebaixamento (dias)
535,00	0,00	0
530,00	5,00	20
525,00	10,00	36
520,00	15,00	49
515,00	20,00	60
510,00	25,00	69
508,00	27,00	72

O arranjo do sistema de descarga d'água, seus elementos constituintes e detalhes dos aspectos das obras civis e dos equipamentos hidromecânicos são apresentados no Tomo 2-Desenhos.

5.10. ETAPAS CONSTRUTIVAS

5.10.1. Generalidades

O Rio Inhuçu situado na Serra da Ibiapaba, numa das zonas mais úmidas do Ceará, corre o ano inteiro, sendo que nos períodos de estiagem, de julho a dezembro, com vazão muito pequena o que permite, normalmente, que se atravesse seu leito a pé com água abaixo da altura do joelho humano. Tirando partido dessa situação e considerando a topografia do sítio das obras, a situação das áreas de ocorrências de material e o fato do eixo ser interceptado por uma calha única do rio, foi desenvolvido os procedimentos executivos da obra que são descritos a seguir.

5.10.2. Período de Execução

A obra foi contratada para ser executada em 36 meses, ou seja, três anos, portanto, três períodos de cheia e três períodos secos.

O início das obras foi admitido como sendo realizado para o começo de uma estação chuvosa (Janeiro do ano 1).

5.10.3. Descrição da Metodologia de Execução

A logística montada para a execução da obra foi apoiada em dois fatores primordiais que são o conhecimento do projeto e prazo da obra que é de 36 meses. Na região tem-se o período chuvoso que vai de janeiro a junho e o período de estiagem vai de julho a dezembro. Desta forma, a obra será desenvolvida em seis períodos sendo três de chuvas e três de estiagem. Para a definição das cotas das ensecadeiras que serão edificadas no período seco tomou-se como referencia as cotas e vazões registradas na estação fluviométrica instalada em Croatá. Nas estações chuvosas foi admitido o rio correndo livremente pela calha atual e regiões lindeiras, de forma a corresponder a uma largura inundável de 120 metros.

Primeiro Período - FASE 1

A obra está prevista para iniciar em Janeiro/Ano 01 que coincide com o início de uma estação de chuvas.

Portanto o primeiro período vai de Janeiro/Ano 01 a Junho/Ano 01. Neste período será instalado o canteiro de obras e feita a mobilização dos equipamentos e mão de obra.

Os serviços acontecerão nas duas ombreiras. Na ombreira direita será feito as escavações da fundação conforme pode ser visto no desenho BL-PE- 03 – 01/07. Devem ser escavados cerca de 489.951 m³ de material de 1^a categoria, 7.794m³ de material de 2^a categoria e 33.090 m³ de material de 3^a categoria com fogo controlado. Os serviços nessa ombreira serão executados entre as estacas 10 e 29+00.

Na ombreira esquerda os serviços consistirão na escavação da fundação entre as estacas 35+00 e 49+00, nesses serviços está previsto a escavação de 205.901 m³ de material de 1^a categoria, 7.315 m³ de material de 2^a categoria.

Após a escavação e limpeza da fundação, esta previsto a execução do tratamento de fundação nas ombreiras.

Deve-se dar início a escavação do sangradouro, realizando-se toda a escavação de 1^a e 2^a categoria e iniciando-se as escavações com fogo a partir das extremidades dos canais, sendo escavado no período cerca de 20% de material.

Ainda nessa fase deve ser iniciado a produção e estocagem de materiais para britagem e desmonte de rocha para execução das zonas de transição e enrocamentos.

Segundo Período - FASE 2

O segundo período da obra que vai de Julho/Ano 01 a Dezembro/Ano 01 tem-se uma fase de estiagem nele deverão ser iniciados e concluídos os seguintes serviços:

Prosseguimento da escavação das ombreiras, sendo na ombreira esquerda entre estacas 1+14,87 e 10+00, envolvendo escavações de 51.912 m³ de material de 1^a e 6.057 m³ de material de 2^a categoria, e entre estacas 49+00 e 60+6,57, envolvendo escavações de 90.629 m³ de material de 1^a e 3.783 m³ de material de 2^a categoria.

Deverá ser dado início a execução dos serviços de terraplenagem nas ombreiras. Em cada ombreira, deverá ser elevada até aproximadamente a cota 500,00, equivalente a 26% de execução do maciço total.

Será construída uma ensecadeira em torno do local destinado a execução da descarga de fundo. A mesma deverá estar na cota 488, conforme pode ser visto no desenho BL-PE- 03 – 02/07. Durante a execução da ensecadeira, é prevista a escavação de um canal na margem direita do rio, na cota 484,00 como sistema de desvio.

Após a construção da ensecadeira, deve ser dado início a execução da descarga de fundo, estando prevista para este período a conclusão dos serviços de concreto na galeria. Também poderá ser executado a torre, concluindo-se cerca de 50% da obra.

É dado continuidade nos trabalhos no sangradouro nos serviços de escavação com fogo controlado e de avanço.

Os serviços que serão executados na fase 2 poderão ser vistos no desenho BL-PE- 03 – 02 – 07.

Terceiro Período - FASE 3

A fase 3 vai de Janeiro/Ano 02 a Junho/Ano 02 (período chuvoso) e nela serão executados os seguintes serviços:

- Continuarão os serviços de execução do maciço da barragem, executando-o até a cota 506.
- Conclusão da torre da descarga de fundo.
- Após a conclusão da torre da descarga, deverá ser desinstalada a ensecadeira construída no entorno da estrutura.
- Continuação dos serviços de escavação do sangradouro.

- Início dos serviços na tomada d'água, concluindo a construção da galeria.

Quarto Período - FASE 4

A fase 4 vai de Julho/Ano 02 a Dezembro/Ano 02. Essa fase é o segundo período seco de construção da obra. Nesta etapa serão executados os seguintes serviços:

- Continuidade dos serviços de terraplenagem nas ombreiras, até a cota 522,00 (cota de segurança)
- Conclusão dos serviços na tomada d'água,
- Conclusão da escavação do sangradouro e início dos serviços de concreto.

Quinto Período - FASE 5

A fase 5 vai de Janeiro/Ano 03 a Junho/Ano 03 é o penúltimo período do contrato e coincide com uma estação de chuva.

- Nessa fase serão executados trabalhos nas ombreiras, até a cota 530,00.
- Continuidade das obras de concreto no sangradouro, estimando o alcance de 70% da obra.
- Ao final deste período, está previsto a execução de um desvio do rio para a descarga de fundo através da construção de duas ensecadeiras, uma na ombreira esquerda e a principal barrando o rio. As ensecadeiras devem ficar na cota 488,00.
- Após o desvio do rio, deve ser iniciado os serviços de escavação e tratamento da fundação no leito do rio, entre as estacas 29 e 35.

Sexto Período - FASE 6

A fase 6 vai de Julho/Ano 02 a Dezembro/Ano 02 e é a fase final do contrato. Nessa fase serão executados os seguintes serviços:

- Desinstalação das ensecadeiras existentes.
- Fechamento do rio até a cota 530,00.
- Conclusão dos serviços de terraplenagem da barragem até a cota de coroamento (cota 540,00).
- Conclusão dos serviços no sangradouro.
- Acabamento final e entrega da obra.

Os serviços a serem executados na fase 6 podem ser vistos nos desenhos BL-PE- 03 – 06/07.

6. CANTEIRO DE OBRAS

6. CANTEIRO DE OBRAS

A área destinada ao canteiro de obra está localizada no lado esquerdo do rio Piaus, a 350 m a jusante do eixo barrável, em área lindeira à estrada de ligação entre Croatá e São Jose das Lontras. O local encontra-se fora da área do futuro reservatório e de sua respectiva faixa de preservação ambiental, distante cerca de 3,6 km para a sede de São José das Lontras e 4,0 km para a localidade de Barra do Lino.

O acesso ao canteiro de obras se fará através da estrada existente de revestimento primário e leito natural, com partida através da cidade de Croatá.

O local previsto para a Central de Concreto situa-se na margem direita do rio, a direita do canal de restituição do sangradouro.

Na **Figura 6.1** é apresentada uma imagem Google com a posição da área do canteiro de obras e central de concreto.



Figura 6.1 - Localização do Canteiro de Obras e Central de Concreto

Com a previsão da instalação da central de britagem junto a Pedreira P-02, no município de Ipueiras, a instalação mínima para o canteiro de obra deverá ser composta dos seguintes elementos:

01	- Escritório da Administração
02	- Escritório da Fiscalização e Supervisão
03	- Laboratório de solo e concreto
04	- Depósito de cimento
05	- Central de concreto
06	- Posto de Abastecimento, Lavagem e Lubrificação
07	- Oficina Mecânica
08	- Almoxarifado
09	- Central de Carpintaria
10	- Central de Armação
11	- Refeitório
12	- Portaria
13	- Ambulatório
14	- Alojamentos
15	- Casa de visita p/ Engenheiros
16	- Sanitários e Vestiários

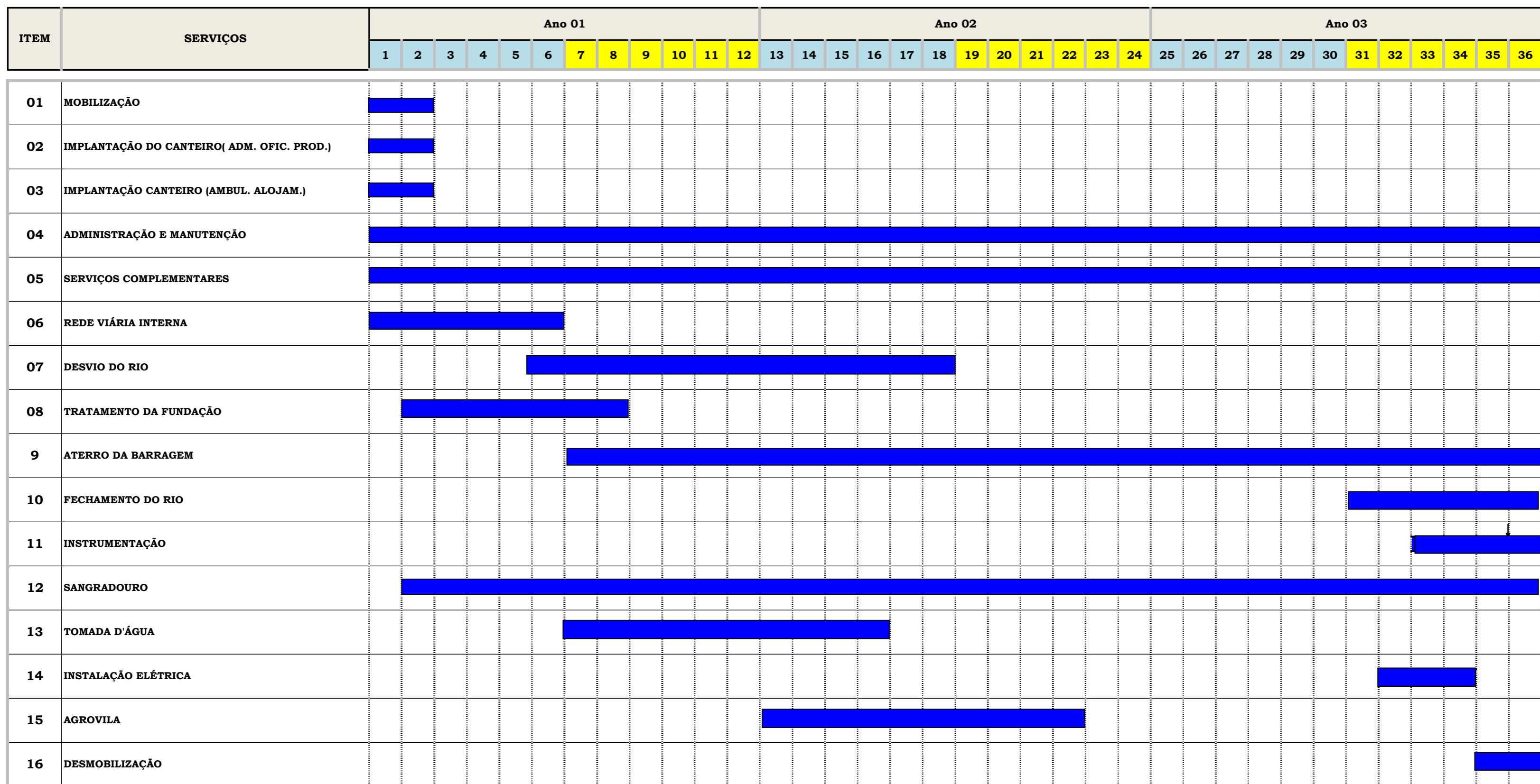
7. CRONOGRAMA FÍSICO

7. CRONOGRAMA FÍSICO

Previu-se de acordo com as dimensões das obras da Barragem Lontras e com as características climáticas da Região, um prazo de 36 meses para a conclusão das obras, em que deverá ser observada a sequência de execução dos serviços a fim de se obter um máximo aproveitamento do tempo e uma eficiência completa no andamento das obras.

Na **Figura 7.1** apresenta-se o Cronograma Físico baseado nas etapas construtivas concebidas no projeto.

**Figura 7.1 - CRONOGRAMA FÍSICO PARA A IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM LONTRAS
MUNICÍPIOS DE IPUEIRAS E DE CROATÁ/ ESTADO DO CEARÁ**



PERÍODO SECO
 PERÍODO CHUVOSO

8. EQUIPAMENTO MÍNIMO

8. EQUIPAMENTO MÍNIMO

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

8.1. RELAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS MÍNIMOS

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.
1	Carregadeira de pneus- 1,7 m ³	un	03
2	Carregadeira de pneus- 1,8 m ³	un	01
3	Carregadeira de pneus- 3,1 m ³	un	01
4	Retro-Escavadeira com potência de 85 HP	un	02
5	Escavadeira 320 HP	un	01
6	Trator de esteira com potência de 300 HP	un	03
7	Trator de esteira com potência de 235 HP	un	02
8	Trator de pneus com potência de 77 KW	un	02
9	Transportador com potência de 220 HP	un	08
10	Guindaste com potência de 180 HP e Capacidade de 50 t	un	01
11	Guindaste com potência de 85 HP e lança de 7,5 m	un	01
12	Motoniveladora com potência de 180 HP	un	04
13	Central de concreto	un	01
14	Caminhão betoneira com potência de 180 HP	un	02
15	Rolo compactador autopropulsor pé de carneiro vibratório	un	04
16	Rolo compactador autopropulsor liso vibratório	un	02
17	Perfuratriz sobre esteiras Crawl Drill	un	04
18	Estação compressora móvel	un	04

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UNID.	QUANT.
19	Caminhão basculantes com potência de 260 HP	un	25
20	Caminhão pipa	un	05
21	Central de britagem	un	01
22	Central de injeção de cimento	un	02
23	Laboratório de solos (completo)	un	01
24	Laboratório de concreto (completo)	un	01



consórcio