



**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.: 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 A1 - RELATÓRIO DE IDENTIFICAÇÃO DE OBRAS- RIO  
Tomo 1 - Estudos de Verificação das Alternativas de Localizações**



**Integração**  
Ministério da Integração Nacional



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



**ABRIL/2011**



**consórcio**



**GOVERNO DO  
ESTADO DO CEARÁ**  
*Secretaria dos Recursos Hídricos*

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

**Etapa A1 - Relatório de Identificação de Obras- Rio**

**Tomo 1 - Estudos de Verificação das Alternativas de Localizações**

**Abril de 2011**

---

## APRESENTAÇÃO

## APRESENTAÇÃO

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

O Eixo de Integração da Ibiapaba, então concebido pelo PROGERIRH – Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos, está localizado na região noroeste semi-árida do Estado do Ceará. Neste sistema, estão compreendidas as Bacias dos Rios Acaraú, Coreaú e Poti, sendo que esta última se estende também ao Estado do Piauí, onde constitui uma parte da Bacia do Parnaíba. Se diferencia 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.

Os estudos aqui apresentados integram 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 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 Projetos Executivos destas barragens 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.

O estudo é composto pelas seguintes Fases e respectivos Volumes:

### – 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, Canal/Túnel e Penstock/PCH
  - Etapa B3 - Projeto Executivo das Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH
  - Etapa B4 - Manuais de Operação e Manutenção do Sistema
  - Etapa B5 - Avaliação Financeira e Econômica Final do Sistema - Barragens, Canal/Túnel e Penstock/PCH

O presente documento constitui o Tomo 1 - Estudo de Verificação das Alternativas de Localizações e integra o Relatório de Identificação das Obras RIO. O RIO engloba os Estudos de Alternativas para Localizações das Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH sendo constituído dos seguintes Tomos:

- **Tomo 1 – Estudo de Verificação das Alternativas de Localizações**
- Tomo 1A – Desenhos
- Tomo 1B – Anexos
- Tomo 2 – Opções de Localizações das Obras

---

## ÍNDICE

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. ANÁLISE DA DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1. CARTOGRAFIA.....</b>	<b>16</b>
2.1.1. <i>Material Disponível.....</i>	16
2.1.2. <i>Base Cartográfica para os Estudos de Viabilidade.....</i>	28
2.1.3. <i>Base Cartográfica para o Projeto Executivo .....</i>	29
<b>2.2. GEOLOGIA .....</b>	<b>31</b>
2.2.1. <i>Geologia da Serra da Ibiapaba .....</i>	31
2.2.2. <i>Geologia do Local da barragem Inhuçu .....</i>	32
2.2.3. <i>Geologia do Local da barragem Lontras.....</i>	32
<b>2.3. GEOTECNIA .....</b>	<b>33</b>
2.3.1. <i>Campanha de sondagens Mecânicas e Ensaios “in situ” .....</i>	34
2.3.2. <i>Estudos preliminares de materiais naturais para uso nas barragens .....</i>	35
<b>2.4. HIDROLOGIA .....</b>	<b>36</b>
2.4.1. <i>Climatologia.....</i>	36
2.4.1.1. <i>O clima da Região.....</i>	37
2.4.2. <i>Estudo de Deflúvios Anteriores .....</i>	43
2.4.2.1. <i>Generalidades .....</i>	43
2.4.2.2. <i>Os Recursos Hídricos Superficiais .....</i>	43
2.4.2.3. <i>Estações Fluviométricas .....</i>	45
2.4.2.4. <i>Escoamento Superficial .....</i>	47
2.4.2.5. <i>Vazões Regularizadas dos Reservatórios .....</i>	47
2.4.2.6. <i>Resultados dos Estudos de Balanço para a Alternativa de Projeto .....</i>	49
<b>2.5. ASPECTOS GERAIS DA SOCIOECONOMIA DA ÁREA A SER IMPACTADA PELAS OBRAS E EXPECTATIVAS DA POPULAÇÃO FACE AO SEU REASSENTAMENTO COMPULSÓRIO .....</b>	<b>50</b>
<b>2.6. UMA VISÃO PROSPECTIVA DAS POSSIBILIDADES DE GERAÇÃO DE EMPREGO E RENDA E OUTROS BENEFÍCIOS SOCIAIS E ECONÔMICOS INDUZIDO PELA PRESENÇA DA ÁGUA A SER ARMAZENADA NAS BARRAGENS.....</b>	<b>54</b>
2.6.1. <i>Na área de influência direta, os municípios da Ibiapaba .....</i>	54
2.6.2. <i>Na área do caminhamento das águas, nos municípios do Sertão Cearense.....</i>	57

<b>3. RECONHECIMENTO .....</b>	<b>58</b>
3.1. Fotointerpretação .....	59
3.1.1. <i>Características do Imageamento</i> .....	62
3.1.2. <i>Serviços a Serem Realizados pela Threetek</i> .....	62
3.2. Escolha de Locais Alternativos para o Sistema .....	64
3.3. Visita aos locais dos eixos barráveis, canal/túnel e hidrelétrica .....	67
3.4. Levantamentos das condições preliminares de topografia, de geologia e de geotecnia .....	70
3.4.1. <i>Topografia</i> .....	70
3.4.2. <i>Geologia</i> .....	71
3.4.2.1. Geologia Relativa aos Barramentos Alternativos .....	71
3.4.2.2. Geologia Relativa ao Circuito Túnel/PCH .....	108
3.4.3. <i>Geotecnia</i> .....	109
3.4.3.1. Geotecnia Relativa aos Barramentos Alternativos .....	109
3.4.3.2. Resultados de ensaios de amostras de ocorrências de solos .....	115
3.4.3.3. Considerações do reconhecimento geotécnico relativo aos barramentos .....	116
3.4.3.4. Geotecnia Relativa aos Locais do Circuito Túnel/PCH .....	118
<b>4 - PLANEJAMENTO DOS ESTUDOS BÁSICOS .....</b>	<b>120</b>
4.1. Levantamentos topográficos .....	121
4.1.1. <i>Mapeamento planialtimétrico baseado em imagens de satélite</i> .....	121
4.1.2. <i>Levantamento Aerofotogramétrico</i> .....	121
4.1.2.1. Metodologia de Execução .....	121
4.2. Estudos hidrológicos .....	144
4.3. Estudos geológicos .....	146
4.4. Estudos geotécnicos .....	147
4.5. Estudos Pedológicos .....	148

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Articulação das Cartas .....	18
Figura 2.2: Localização da AOI .....	29
Figura 2.3: Estações Climatológicas das Bacias do Acaraú, Coreaú e Poti.....	38
Figura 2.4: Mapa das Isoietas .....	39
Figura 2.5: Hietograma Típico da Bacia do Acaraú, no Posto Sobral .....	40
Figura 2.6: Hietograma Típico da Bacia do Coreaú, no Posto Granja.....	41
Figura 2.7: Hietograma Típico da Bacia do Poti, no Posto Novo Oriente .....	41
Figura 2.8: Rede Hidrográfica das Bacias do Acaraú, Coreaú e Poti.....	44
Figura 3.1: Quicklook das cenas coletas com sucesso até o momento. ....	61
Figura 3.2: Representatividade da área da bacia do rio Piau em relação a área total.....	66
Figura 3.3: Localização do Eixo Alternativos para a Barragem Inhuçu .....	68
Figura 3.4: Alternativas para o Eixo Lontras .....	69
Figura 3.5: 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 .....	72
Figura 3.6: 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 .....	73
Figura 3.7: 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, além de basculamentos (Mapa Embrapa). ....	74
Figura 3.8: Mapa da distribuição de eventos sísmicos no Nordeste do Brasil. ....	75
Figura 3.9: Localização aproximada dos cinco eixos de barramento cogitados a montante da cidade de Croatá. O chamado Açude Inhuçu (em amarelo) é o que consta dos estudos Montgomery/Engesoft.....	80
Figura 3.10: No trecho do rio Inhuçu a jusante de Croatá, foram identificados três possíveis sítios de interesse. Por razões logísticas, foram visitados somente os dois mais a montante. O Açude Lontras (em amarelo) é o dos estudos da Montgomery Watson/Engesoft. ....	95
Figura 3.11: Localização das Ocorrências de solos Identificadas .....	117
Figura 4.1: Poligonal Limitante do Aerolevanteamento .....	122

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Evaporação Média Mensal em Tanque Classe A (mm) na Região do Projeto da Ibiapaba .....	42
Quadro 2.2: Estações Fluviométricas Utilizáveis nas Bacias do Acaraú, Coreaú e Poti.....	46
Quadro 2.3: Resultados do Estudo Hidrológico para a Rede de Grande Açudagem das Bacias do Acaraú, Coreaú e Poti .....	48
Quadro 2.4: Análise comparativa entre o Projeto Ibiapaba e o PERH com relação aos valores de vazão regularizada dos açudes de interesse das bacias do Acaraú, Coreaú e Poti.....	49
Quadro 2.5: Configuração Final da Alternativa Seleccionada .....	50
Quadro 3.1: Metadados das cenas .....	60
Quadro 3.2: Características locais dos eixos seleccionados para a Barragem Inhuçu.....	65
Quadro 3.3: Características da localização dos eixos seleccionados para a Barragem Lontras.....	67
Quadro 3.4: Extensões dos levantamentos topográficos.....	70
Quadro 3.5: Principais sismos de magnitude $\geq 3,0 m_b$ ocorridos no Nordeste do Ceará.....	76
Quadro 3.6: Resultados de ensaios de amostras de ocorrências de solos.....	116

## LISTA DE FOTOS

Foto 3.1: Marco topográfico credenciado nº 006, no alto da ombreira direita da alternativa de eixo Inhuçu 1 (altit. 624 m) (Coord. UTM N 9.512.839 E 285.618). .....	71
Foto 3.2: Vista da ombreira esquerda da alternativa de eixo de barramento Inhuçu 3, o mais a jusante de todos, a partir da estrada que acompanha o rio pela margem esquerda (Foto tirada nas coord. UTM N 9.512.507 E 287.839 Sad 69). .....	80
Foto 3.3: Vista da ombreira direita da alternativa de eixo Inhuçu 2, a partir da estrada que corre ao longo da margem esquerda (Foto tirada nas coord. UTM N 9.512.996 E 286.820). .....	82
Foto 3.4: Ombreira esquerda da alternativa de eixo de barramento Inhuçu 2. A trilha visível na encosta sinaliza a posição do eixo (Foto tirada nas coord. UTM N 9.512.996 E 286.820). .....	82
Foto 3.5: Travessia no rio Inhuçu, nas vizinhanças do povoado Volta do Rio. Notar os afloramentos rochosos em ambas as margens (Coord. UTM N 9.513.819 E 284.320). .....	83
Foto 3.6: Detalhe da foto anterior. Horizonte de arenito enriquecido em óxidos de ferro, que conferem à rocha maior coerência e resistência. ....	83
Foto 3.7: Detalhe da foto anterior. Notar os extensos afloramentos rochosos à margem do rio, no sítio Inhuçu 1 (Coord. UTM N 9.512.839 E 285.618). .....	84
Foto 3.8: Vista da área de interesse à alternativa de eixo de barramento Inhuçu 1 (Coord. UTM N 9.512.839 E 285.587). A linha pontilhada assinala a posição aproximada do eixo. ....	85
Foto 3.9: Ombreira direita da alternativa de eixo de barramento Inhuçu 1 (Coord. UTM 9.512.962 E 285.679). O eixo de barramento é assinalado pela trilha no centro da imagem. ....	85
Foto 3.10: Vista parcial da ombreira esquerda da alternativa de eixo Inhuçu (do estudo Montgomery Watson/Engesoft), tirada a partir da estrada (Coord. UTM N 9.515.631 E 284.285). .....	86
Foto 3.11: Foto tirada do alto da ombreira esquerda da alternativa de eixo Inhuçu (do estudo Montgomery Watson/Engesoft) (cota 590 m) (Coord. UTM 9.515.662 E 284.346). Em primeiro plano, um nível de arenito silicificado, que ressalta na topografia e constitui um bom horizonte-guia. ....	87
Foto 3.12: Afloramentos rochosos e acúmulos de blocos soltos, de dimensões as mais variadas, atapetam a ombreira esquerda da alternativa Inhuçu (Coord. UTM 9.515.632 E 284.408). .....	87
Foto 3.13: Em alguns afloramentos, como na ombreira esquerda da alternativa de eixo Inhuçu, é possível identificar a atitude do acamamento, que mergulha alguns graus para leste, em discrepância com o típico mergulho regional, para oeste (Coord. UTM 9.515.632 E 284.408). .....	88
Foto 3.14: Foto tirada do alto da ombreira direita da alternativa de eixo de barramento Inhuçu (aquele que consta dos estudos da Montgomery Watson/Engesoft). Notar o basculamento do bloco no centro da imagem, com inversão do mergulho, em decorrência do histórico de tectonismo regional (Coord. UTM N 9.515.139 E 283.885). A linha tracejada assinala a posição aproximada do eixo de barramento Inhuçu. ....	89
Foto 3.15: Focalizando a ombreira esquerda do eixo alternativo Inhuçu (do estudo Montgomery Watson/Engesoft) (Coord. UTM N 9.515.139 E 283.885). .....	89
Foto 3.16: Pequena cava de exploração local, no pé da ombreira direita da alternativa de eixo Inhuçu (do estudo Montgomery Watson/Engesoft) (Coord. UTM N 9.515.231 E 283.916). .....	91

Foto 3.17: Vista parcial de um possível eixo de barramento, situado a montante do povoado de Barra do Sotero (Coord. UTM N 9.520.792 E 284.148).....	92
Foto 3.18: Local de encontro dos rios Inhuçu e Piau, algumas centenas de metros a montante do povoado de Barra do Sotero (Coord. UTM 9.520.669 E 284.056). ....	93
Foto 3.19: Ponto de encontro das águas dos dois rios. O rio Piau entra pelo lado esquerdo da foto (Coord. UTM 9.520.669 E 284.056). ....	93
Foto 3.20: Ao longe, vista parcial da ombreira direita de uma eventual alternativa de eixo de barramento, a montante do povoado de Barra do Sotero. ....	94
Foto 3.21: Passagem molhada em Barra do Sotero (Coord. UTM 9.519.870 E 283.688). Esta barreira, reformada recentemente, já foi galgada por ocasião de uma enchente, durante cerca de uma semana.....	94
Foto 3.22: Afloramento rochoso (arenito muito coerente) na alternativa de eixo Lontras (dos estudos Montgomery Watson/Engesoft), próximo à rodovia, na vertente esquerda do vale (Coord. UTM aprox. N 9.499.000 E 283.100). ....	96
Foto 3.23: Superfície drusiforme de cristais salientes de quartzo secundário, com faces prismáticas, crescidos em geodo, testemunhando o processo de silicificação do próprio arenito, que adquiriu características de resistência elevada. ....	97
Foto 3.24: Rio Inhuçu, no eixo de barramento de Lontras (previsto nos estudos da Montgomery Watson/Engesoft). Na margem direita ocorre um afloramento de rocha, assinalado pela seta amarela (Foto tirada nas coord. UTM N 9.499.122 E 282.894).....	98
Foto 3.25: Rio Inhuçu no eixo de barramento Lontras (dos estudos Montgomery/Engesoft). Outros afloramentos rochosos são visíveis em ambas as margens (Foto tirada nas coord. UTM N 9.499.122 E 282.894).....	98
Foto 3.26: No alto da ombreira esquerda do sítio Lontras, estrutura de colapso do maciço rochoso arenítico, de origem duvidosa, possivelmente por deformação plástica de horizonte sotoposto (Coord. UTM N 9.498.800 E 282.960). ....	100
Foto 3.27: Outra vista da estrutura de colapso do maciço arenítico. Os blocos estão se deslocando como peças de dominó, em direção ao fundo de vale adjacente, que é paralelo ao eixo de barramento (Coord. UTM N 9.498.800 E 282.960). ....	100
Foto 3.28: A extensa trilha, com cerca de um km, aberta na vertente esquerda do vale, em vegetação típica de cerrado, conduz ao sítio de Lontras 1, partindo da estrada.....	102
Foto 3.29: Foto tirada próximo ao “canyon” que caracteriza a alternativa de eixo Lontras 1, olhando do alto da margem esquerda para a direita. Ao longe, é visível uma escarpa em arenito, que sinaliza a parede do canyon, na vertente direita do vale (Coord. UTM aprox. N 9.496.860 E 281.270). ....	102
Foto 3.30: Na alternativa de eixo Lontras 1, a escarpa do canyon, na margem esquerda, é recoberta por acúmulos de blocos de arenito de grandes dimensões. ....	103
Foto 3.31: Vista do acúmulo de blocos que recobre a encosta do canyon, do lado esquerdo do rio, na alternativa Lontras 1. ....	103
Foto 3.32: No fundo do canyon, na alternativa de eixo Lontras 1, as águas do rio correm mansas, num trecho delimitado por corredeiras frequentes ( Coord. UTM aprox. N 9.496.900 E 281.250). ....	104

Foto 3.33: No sítio Lontras 1, blocos de rocha de grandes dimensões, rolado do alto da encosta, à margem esquerda do rio.....	105
Foto 3.34: Material granular laterítico em cava em processo de exploração. A ocorrência é de origem coluvionar, tendo sido o material transportado por diversos agentes (Coord. UTM N 9.513.411 E 281.176). .....	110
Foto 3.35: Detalhe da cava, notando-se a altura da parede, de cerca 2,2 m, que corresponde à espessura máxima da ocorrência (Coord. UTM N 9.513.411 E 281.176).....	110
Foto 3.36: Vista parcial da cava de material granular laterítico, sobreposta ao substrato rochoso arenítico (Coord. UTM N 9.513.411 E 281.176). ....	111
Foto 3.37: Cava de solo laterítico concrecionado (superficial) seguido, em profundidade, por solo arenoso com características levemente coesivas. A altura máxima do corte é de quatro metros. A cava se situa no distrito de Santa Tereza, afastado da área de interesse aos empreendimentos, mas revela a qualidade dos materiais disponíveis na região (Coord. UTM N 9.536.644 E 296.384). ....	112
Foto 3.38: Detalhe da foto anterior (Coord. UTM N 9.536.644 E 296.384). ....	112
Foto 3.39: Antiga cava desativada, perto do povoado de Descoberto. As paredes mostram a grande heterogeneidade do perfil do terreno, que deve ter contribuído para o abandono do local (Coord. UTM N 9.535.076 E 296.018). ....	113
Foto 3.40: Cava abandonada próximo a Carnaubal, em solo laterítico concrecionado (Coord. UTM N 9.537.884 E 288.207). ....	114
Foto 3.41: Detalhe da foto anterior. Notar a densidade de nódulos lateríticos, imersos em uma massa de areia fina. ....	114
Foto 3.42: Cava de areia em exploração, à margem da rodovia que liga Carnaubal a Inhuçu. A espessura da areia (não coesiva) alcança cinco a seis metros e é capeada por horizonte de solo laterítico concrecionado (Coord. UTM N 9.543.135 E 287.362). ....	115

---

## 1. INTRODUÇÃO

## 1. INTRODUÇÃO

O presente documento é parte integrante do Relatório de Identificação de Obras- RIO, marco inicial dos trabalhos que visa a elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo do Eixo de Integração da Ibiapaba/CE, representado pelas barragens Lontras e Inhuçu, Túnel de Adução, Penstock e Pequena Central Hidrelétrica (PCH) de Ipueiras.

O objetivo almejado por este relatório é a apresentação dos dados oriundos de estudos anteriores, as observações e análises realizadas nas viagens de reconhecimento das equipes técnicas, os levantamentos iniciais elaborados, os estudos preliminares desenvolvidos neste momento, a construção de cenários alternativos e a elencagem dos impactos destes cenários.

## 2. ANÁLISE DA DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE

## 2. ANÁLISE DA DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE

### 2.1. CARTOGRAFIA

#### 2.1.1. *Material Disponível*

Como estabelecem os Termos de Referência contratuais, esta parte inicial do Estudo de Viabilidade Fase A1, que abrange estudos de verificação das alternativas para localizações das barragens, canal/túnel e penstock/pch, teve como base os elementos levantados de forma preliminar, referente às condições mais gerais e inerentes as construções das Barragens, do Canal/Túnel e PCH, tais como a configuração topográfica, natureza das rochas das fundações, presença de materiais apropriados para a construção e tipologia dos solos a serem inundados.

Os estudos e serviços desenvolvidos foram subsidiados pelas informações e dados relativos aos estudos de avaliações disponíveis até o momento, principalmente as integrantes do Diagnóstico, dos Estudos Básicos e dos Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba, elaborados para SRH/CE pelo Consorcio Montgomery Watson / Engesoft Engenharia e Consultoria em agosto de 2000, e complementados por outras informações mais atuais de interesse, coletadas juntos a órgãos federais, estaduais e municipais.

Do anteriormente exposto, a cartografia básica disponível utilizada para a elaboração do RIO é proveniente do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE e do Instituto de Pesquisa e Estratégia do Ceará - IPECE.

A base cartográfica do IBGE foi a mesma utilizada nos estudos anteriores de viabilidade do Eixo de Integração Ibiapaba. Naquele estudo as alternativas de obras para o empreendimento foram concebidas tendo por base cartas da SUDENE/DSG na escala 1:100.000.

Para a área de abrangência das obras a serem estudadas (açudes Inhuçu e Lontras; e túnel/pentstock), foram consideradas no presente RIO e estão disponíveis pelo IBGE as seguintes cartas topográficas:

Escala 1:1.000.000

MI	Nomenclatura	Nome	Tipo	Última Edição	Projeção	Datum Horizontal	Datum Vertical	Editor
18	SB-24	JAGUARIBE	Carta Internacional ao Milionésimo	1998	Cônica Conforme de Lambert	Córrego Alegre	Imbituba	IBGE

Escala 1:250.000

MI	Nomenclatura	Nome	Tipo	Última Edição	Projeção	Datum Horizontal	Datum Vertical	Editor
152	SB-24-V-A	Piripiri	Carta Imagem Radar Preliminar	1982	UTM	SAD-69	Em Levantamento	DSG
152	SB-24-V-A	Piripiri	Carta Imagem Radar Completa	1982	UTM	SAD-69	Em Levantamento	DSG
152	SB-24-V-A	Piripiri	Topográfica	1982	UTM	SAD-69	Imbituba	DSG
152	SB-24-V-A	Piripiri	Planimétrica	1973	UTM	Córrego Alegre	Imbituba	RADAM

Escala 1: 100.000

MI	Nome	Projeção	Nomenclatura	Tipo	Editor	Última Edição	Datum Horizontal	Datum Vertical
0746	PEDRO II	UTM	SB-24-V-A-II	Topográfica	DSG	1979	Córrego Alegre	Imbituba
0747	IPU	UTM	SB-24-V-A-III	Topográfica	DSG	1979	Córrego Alegre	Imbituba
0816	MACAMBIRA	UTM	SB-24-V-A-V	Topográfica	DSG	1978	Córrego Alegre	Imbituba
0817	IPUEIRAS	UTM	SB-24-V-A-VI	Topográfica	DSG	1972	Córrego Alegre	Imbituba

A **Figura 2.1** a seguir apresenta a distribuição das cartas do IBGE na escala 1:100.000 em relação a área de abrangência do projeto.

Do IPECE, dispõe-se de mapeamento sistemático na escala 1:1.000.000 envolvendo os mais diversos temas ligados à caracterização territorial, demografia, indicadores sociais, infra-estrutura e atividades econômicas, conforme listagem detalhada apresentada a seguir. As informações do IPECE estão estruturadas ao nível de município, que para a área onde estarão inseridas as obras abrangem Carnaubal, São Benedito, Guaraciaba do Norte, Ipú, Croatá e Ipueiras.

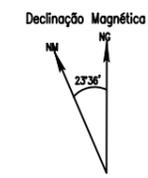
### Caracterização Territorial

#### *Limites e Regionalizações*

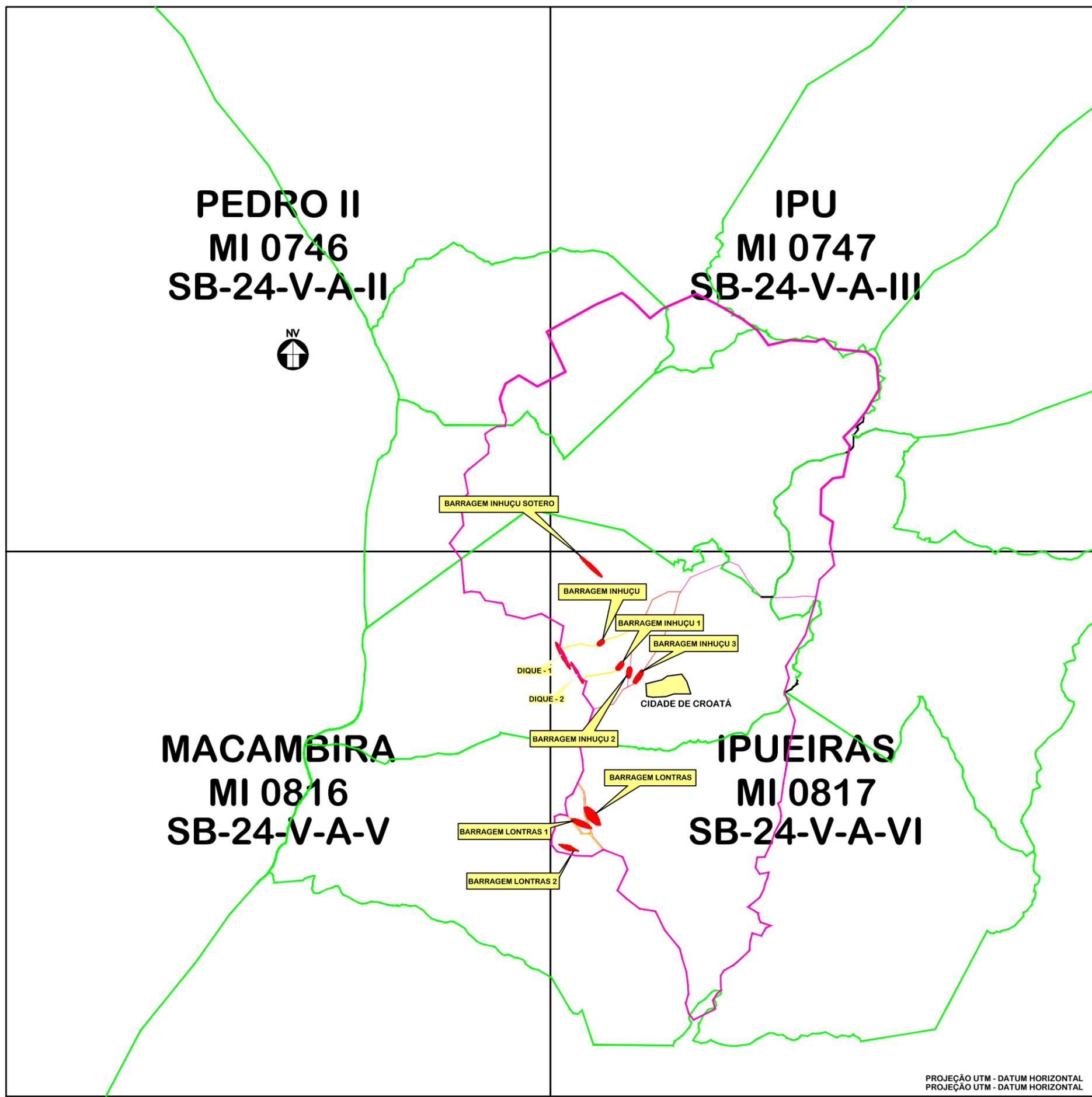
- Posição Geográfica, Dimensões e Limites
- Evolução Territorial do Estado do Ceará 1823 - 2000
- Divisão Política do Ceará
- Evolução Político-Administrativa Municipal

SINAIS CONVENCIONAIS

- Limite Municipal 
- Bacia Hidrográfica 
- ESTUDOS DE BARRAGENS 



DATUM: SAD- 69  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM: "EQUADOR E MERIDIANO 39°W.GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES: 10.000 KM E 500 KM,RESPECTIVAMENTE.  
 DECLINAÇÃO MAGNÉTICA DO CENTRO DA FOLHA EM 2000:23°36'W.  
 CRESCE 5' ANUALMENTE.



PROJEÇÃO UTM - DATUM HORIZONTAL  
 PROJEÇÃO UTM - DATUM HORIZONTAL

Ministério da Integração Nacional - MI Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL Projeto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos PROGERIRH II GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS		
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		
FIGURA 2.1 ARTICULAÇÃO DA CARTAS 1:100.000		
CONSORCIO: 	ESCALA: 1:60.000 DATA: ABRIL/2011 ARQUIVO: Fig. 2.1-Articulação das Cartas	DESENHISTA: AC - - RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:

- Macrorregiões de Planejamento
- Regiões Metropolitanas e Microrregiões Administrativas
- Mesorregiões e Microrregiões Geográficas
- Mesorregiões Geográficas
- Microrregiões Geográficas
- Divisão Territorial de Desenvolvimento Agrícola
- Crede
- Fóruns Regionais de Cultura e Turismo
- Células de Execução da SEFAZ
- Macrorregiões Turísticas
- Macrorregiões de Saúde e Coordenadorias Regionais de Saúde (CRES)
- Escritórios/Agências Regionais do SEBRAE
- Entrâncias e Comarcas do TJCE
- Regionalização da APRECE
- Zonas Eleitorais
- Sedes das Dioceses
- Região Metropolitana de Fortaleza
- Região Metropolitana do Cariri
- Mapa dos Bairros de Fortaleza
- Mapeamento Sistemático 1:1000.000

#### *Meio Ambiente*

- Compartimentação Geoambiental
- Modelo Digital de Elevação - MDE
- Hipsometria
- Classes de Solos
- Unidades Fitoecológicas

- Tipos Climáticos
- Precipitação Pluviométrica 2009
- Bacias Hidrográficas
- Região Semi-árida Cearense
- Áreas Degradadas Susceptíveis ao Processo de Desertificação
- Municípios Susceptíveis à Desertificação
- Unidades de Conservação Ambiental

## Demografia

### *Distribuição da População*

- População Absoluta 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010
- Distribuição da População Estimada 2000 e 2010
- Densidade Demográfica 2000 e 2010
- População Urbana 1980, 2000 e 2010
- População Rural 1980, 2000 e 2010
- Distribuição da População Urbana e Rural 2000 e 2010
- Taxa de Urbanização 2000 e 2010
- Classificação da Taxa de Urbanização 2000 e 2010

### *Estrutura da População*

- Percentual da População com Idade até 14 anos - 2000 e 2007
- Percentual da População com idade entre 15 e 64 anos - 2000 e 2007
- Percentual da População Acima de 64 anos - 2000 e 2007
- Distribuição da População Grupos Etários - 2000 e 2007
- Razão de Dependência - 2000 e 2007
- Número de Homens - 2000 e 2010
- Número de Mulheres - 2000 e 2010
- Distribuição da População Segundo Gênero - 2000 e 2010

- Razão de Sexo - 2000 e 2010

#### *Crescimento e Fecundidade*

- Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População 1991/2000
- Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População 2000/2010
- Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População Urbana 1991/2000
- Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População Urbana 2000/2010
- Taxa Geométrica de Crescimento Anual da População Rural 2000/2010
- Taxa de Fecundidade 1991 e 2000

#### Indicadores Sociais

##### *Indicadores de Desenvolvimento*

- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal 1991 e 2000
- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Desdobramento da Faixa Média 2000
- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Dimensão Educação 1991 e 2000
- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Dimensão Longevidade 1991 e 2000
- Índice de Desenvolvimento Humano Municipal Dimensão Renda 1991 e 2000
- Índice de Desenvolvimento Municipal 2004
- 1G1 - Indicadores Fisiográficos Fundiários e Agrícolas 2004
- 1G2 - Indicadores Demográficos e Econômicos 2004
- 1G3 - Indicadores de Infra-Estrutura de Apoio 2004
- 1G4 - Indicadores Sociais 2004
- Índice de Desenvolvimento Municipal 2006
- 1G1 - Indicadores Fisiográficos Fundiários e Agrícolas 2006
- 1G2 - Indicadores Demográficos e Econômicos 2006
- 1G3 - Indicadores de Infra-Estrutura de Apoio 2006
- 1G4 - Indicadores Sociais 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - IDS-O - 2004

- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - Educação - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - Saúde - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - Moradia - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - Emprego e Renda- 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - Desenvolvimento Rural - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - IDS-O - 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - Educação - 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - Saúde - 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - Moradia - 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Ofertas - Emprego e Renda- 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - Educação - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - Saúde - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - Moradia - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - Emprego e Renda - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - Desenvolvimento Rural - 2004
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - Educação - 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - Saúde - 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - Moradia - 2006
- Índice de Desenvolvimento Social de Resultados - Emprego e Renda - 2006

#### *Renda*

- Renda Per Capita 1991 e 2000
- Renda Média dos Chefes de Domicílios 2000
- Percentual de Indigentes 1991 e 2000
- Percentual de Pobres 1991 e 2000
- Índice de Concentração de Renda de Gini 1991 e 2000

## Saúde

- Distribuição do Número de Unidades de Saúde Ligadas ao SUS - 2005, 2007 e 2008
- Unidades de Saúde Ligadas ao SUS - 2005, 2007 e 2008
- Distribuição do Número de Leitos Ligados ao SUS - 2005, 2007 e 2008
- Número de Leitos Ligados ao SUS Por Mil Habitantes - 2005, 2007 e 2008
- Número de Dentistas Ligados ao SUS Por Mil Habitantes - 2005, 2007 e 2008
- Número de Enfermeiros Ligados ao SUS Por Mil Habitantes - 2005, 2007 e 2008
- Número de Médicos Ligados ao SUS Por Mil Habitantes - 2005, 2007 e 2008
- Taxa de Mortalidade Infantil até 1 ano de idade - 1991, 2000, 2005, 2006 e 2008
- Casos Confirmados de AIDS - 2005, 2007 e 2008
- Casos Confirmados de Dengue - 2005, 2007 e 2008
- Casos Confirmados de Tuberculose - 2005, 2007 e 2008
- Casos Confirmados de Hepatite Viral - 2005, 2007 e 2008
- Casos Confirmados de Meningite - 2005, 2007 e 2008
- Casos Confirmados de Hanseníase - 2005, 2007 e 2008
- Casos Confirmados de Leishmaniose Tegumentar - 2005, 2007 e 2008
- Casos Confirmados de Leishmaniose Visceral - 2005, 2007 e 2008
- Esperança de Vida ao Nascer - 1991 e 2000

## Educação

- População com 8 ou Mais Anos de Estudo
- População com 15 ou Mais Anos de Estudo
- Taxa de Analfabetismo Adulto 1991 e 2000
- Distribuição dos Estabelecimentos da educação infantil 2007 e 2009
- Matrícula Inicial na educação infantil 2007 e 2009
- Taxa de Escolarização Líquida da educação infantil 2007
- Distribuição dos Estabelecimentos do Ensino Fundamental 2005, 2007 e 2009

- Matrícula Inicial no Ensino Fundamental 2005, 2007 e 2009
- Taxa de Escolarização Líquida do Ensino Fundamental 2005 e 2007
- Alunos Aprovados Ensino Fundamental 2005, 2007 e 2008
- Alunos Reprovados Ensino Fundamental 2005, 2007 e 2008
- Alunos Repetentes Ensino Fundamental 2004
- Alunos Evadidos Ensino Fundamental 2005 e 2007
- Distorção Idade Série Ensino Fundamental 2005, 2007 e 2009
- Distribuição Estabelecimentos Ensino Médio 2005, 2007 e 2009
- Matrícula Inicial Ensino Médio 2005, 2007 e 2009
- Taxa Escolarização Líquida Ensino Médio 2005, 2007 e 2009
- Alunos Aprovados Ensino Médio 2005, 2007 e 2008
- Alunos Reprovados Ensino Médio 2005, 2007 e 2008
- Taxa Alunos Repetentes Ensino Médio 2004
- Taxa Alunos Evadidos Ensino Médio 2005
- Distorção Idade Série Ensino Médio 2005, 2007 e 2009
- Municípios com Estabelecimentos Ensino Superior 2002 e 2008
- Percentual População Curso Superior Concluído 2000
- Taxa Bruta Frequência Ensino Superior 1991 e 2000

### *Cultura*

- Monumentos Tombados e Preservados 2005 e 2007
- Distribuição de Teatros, Museus e Bibliotecas Públicas Municipais 2005 e 2007

### Infraestrutura

#### *Energia*

- Consumo de Energia Elétrica Total 2009
- Distribuição do Consumo Energia Elétrica por Tipo de Consumidor 2009
- Comparativo do Consumo Energia Elétrica por Tipo de Consumidor 2009

- Número Total de Consumidores de Energia Elétrica 2009
- Distribuição do Número de Consumidores de Energia Elétrica segundo Tipo 2009
- Comparativo Número Consumidores de Energia Elétrica por Tipo de Consumidor 2009
- Percentual de Pessoas que Vivem em Domicílios com Energia Elétrica 1991
- Percentual de Pessoas que Vivem em Domicílios com Energia Elétrica 2000

#### *Habitação*

- Número de Domicílios Particulares Permanentes 2000 e 2007
- Média de Moradores por Domicílio Particular Permanente 2000 e 2007
- Condição dos Domicílios Segundo Situação de Ocupação 2000
- Percentual de Pessoas que Vivem em Domicílios com Carro 1991 e 2000
- Percentual de Pessoas que Vivem em Domicílios com Telefone 1991 e 2000
- Percentual de Pessoas que Vivem em Domicílios com TV 1991 e 2000

#### *Saneamento e Coleta de Lixo*

- Abastecimento Urbano de Água 2009
- Esgotamento Sanitário Urbano 2009
- Pessoas que Vivem em Domicílios Urbanos com Banheiro Água Encanada 1991 e 2000
- Serviço de Coleta de Lixo 1991 e 2000

#### *Transporte e Comunicação*

- Estradas Pavimentadas do Ceará
- Número de Veículos 2009
- Taxa de Motorização 2009
- Distribuição de Veículos do Tipo Automóvel e Motocicleta 2009
- Comparativo dos Veículos do Tipo Automóvel e Motocicleta 2009
- Unidades de Atendimento dos Correios por 10 Mil Habitantes 2009
- Distribuição de Canais de Radiodifusão de som 2009

## Atividades Econômicas

- Agropecuária - Estrutura Fundiária
  - Número de Imóveis Rurais 2000
  - Número de Imóveis Rurais 2005
  - Tamanho Médio dos Imóveis Rurais 2000
  - Tamanho Médio dos Imóveis Rurais 2005
  - Área do Município Ocupada por Propriedades Rurais Maiores que 500ha 2000
- Agropecuária - Culturas Permanentes
  - Produção de Banana e Coco-da-Baía 2005 e 2007
  - Produção de Castanha de Caju, Mamão, Maracujá e Manga 2005 e 2007
- Agropecuária - Culturas Temporárias
  - Produção de Algodão Hebácio, Feijão, Milho, Mamona e Tomate 2005 e 2007
  - Produção de Castanha de Arroz, Cana-de-açúcar, Mandioca e Melão 2005 e 2007
- Agropecuária - Pecuária
  - Efetivo de Bovinos 2004 e 2007
  - Efetivo de Caprinos 2004 e 2007
  - Efetivo de Ovinos 2004 e 2007
  - Efetivo de Suínos 2004 e 2007
  - Distribuição do Efetivo dos Rebanhos Bovino, Caprino, Ovino e Suíno 2004
  - Distribuição do Efetivo dos Rebanhos Bovino, Caprino, Ovino e Suíno 2007
  - Efetivo de Aves 2004 e 2007
  - Produção de Leite de Vaca 2004 e 2007
  - Produção de Ovos de Galinha 2004 e 2007
  - Produção de Mel de Abelha 2004 e 2007
- Indústria
  - Número de Empresas Industriais 2005 e 2007

- Distribuição das Indústrias Segundo Tipo de Atividade 2005 e 2007
- Comparativo das Indústrias Segundo Tipo de Atividade 2005 e 2007
- Comércio
  - Número de Empresas Comerciais 2005 e 2007
  - Exportações 2005 e 2007
- Turismo
  - Número de Estabelecimentos com Hospedagem 2005
  - Número de Leitos 2005
  - Distribuição do Número de Leitos 2005
- Indicadores Econômicos
  - PIB a Preços de Mercado 2004 e 2006
  - Variação Acumulada do PIB Nominal 2000-2004
  - Produto Interno Bruto Per Capita 2001, 2002, 2003, 2004 e 2006
  - Comparativo da Estrutura Setorial do Valor Adicionado a Preços Básicos (%) 2004 e 2006
  - Distribuição da Estrutura Setorial do Valor Adicionado a Preços Básicos (%) 2004 e 2006
  - Receita do Imposto Sobre Produtos Industrializados IPI 2005 e 2007
  - Arrecadação do IPTU 2005
  - Arrecadação do ICMS 2005 e 2007

O presente estudo, que culminará com os Projetos Executivos das obras de transposição da Serra da Ibiapaba (bacia do Parnaíba) para a bacia do Acaraú, será elaborado por aproximações sucessivas, iniciando com base de dados preliminares e evoluindo fase a fase, pouco a pouco, com dados e informações mais consistentes. A documentação cartográfica disponível para este fase de Relatório de Identificação de Obras não é adequada aos Estudos de Viabilidade previstos na Etapa A.

### 2.1.2. Base Cartográfica para os Estudos de Viabilidade

Para a elaboração dos Estudos de Viabilidade, o Consórcio Engesoft/IBI está elaborando mapeamento planimétrico, na escala 1:25.000, para os temas recursos hídricos e manchas urbanas, a partir de imagens de alta resolução coletadas pelo satélite GeoEye-1, com 50 cm de resolução espacial e 5 m de precisão (CE90) em terreno plano, coletadas em modo estereoscópico. A **Figura 2.2** a seguir ilustra a área de 470 km<sup>2</sup> onde será elaborada a cartografia.

Para a elaboração da referida base o Consórcio Engesoft/IBI contratou a empresa Threetek sediada no Rio de Janeiro. O produto final dos serviços tem prazo previsto para a primeira quinzena de junho.

Uma consulta ao banco de imagens do satélite revelou que não estão disponíveis imagens estereoscópicas em acervo. Portanto, será necessária uma coleta nova por programação do satélite.

As imagens programadas serão entregues com até 15% de cobertura de nuvens dentro da área especificada para programação.

Os produtos finais do mapeamento constarão de :

- Imagens GeoEye-1 brutas - Arquivos digitais contendo as imagens em formato GeoTiff – 11 bits separadas por bandas (R, G, B e NIR), com 0,50 m de resolução, em projeção UTM e Datum WGS-84. Imagens não mosaicadas e não ortorretificadas, portanto, sem processamentos da Threetek.
- Imagens GeoEye-1 processadas pela Threetek - Arquivos digitais contendo as imagens em formato GeoTiff – 8 bits, em composição colorida RGB, com 0,50 m de resolução, em projeção UTM, datum Córrego Alegre. Imagens mosaicadas, equalizadas, georreferenciadas, ortorretificadas e recortadas segundo articulação pré-definida .
- DEM – Arquivo digital contendo o DEM em formato GeoTiff, em projeção UTM e datum Córrego Alegre.
- Recursos hídricos e manchas urbanas - Arquivo digital em formato ESRI SHP contendo os vetores resultantes da classificação das imagens GeoEye-1 para os referidos temas, em projeção UTM e datum Córrego Alegre, compatível com a escala 1:25.000.

- Curvas de nível - Arquivo digital em formato ESRI SHP contendo os vetores resultantes extração das curvas de nível realizado a partir dos pares estereoscópicos das imagens GeoEye-1, em projeção UTM e datum Córrego Alegre, compatível com a escala 1:25.000.

Todos os produtos serão entregues em mídia DVD.

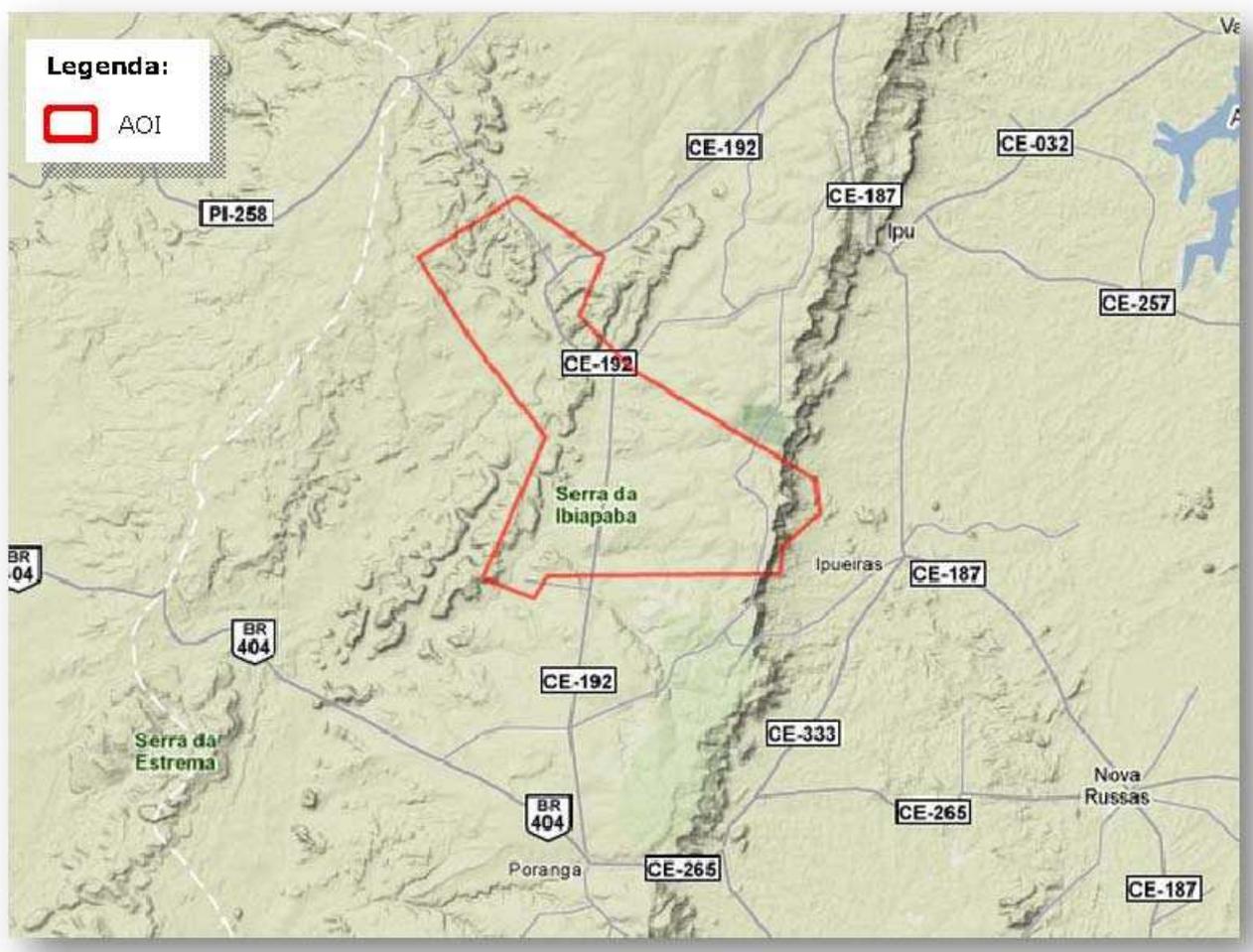


Figura 2.2: Localização da AOI

### 2.1.3. Base Cartográfica para o Projeto Executivo

Para os Projetos Executivos o Consórcio Engesoft/IBI está contratando a elaboração de base cartográfica na escala 1:5.000 com curvas de nível de equidistância vertical de um metro (PEC Classe A) a partir de cobertura aerofotogramétrica digital com resolução compatível com a escala de mapeamento para geração de ortofotocartas. Esta base servirá para a programação final dos serviços de campo tais como locação das obras, programação detalhada das sondagens geotécnicas e cadastramento das áreas de influência das obras.

Na elaboração das cartas estão previstos os seguintes serviços:

- Recobrimento aerofotogramétrico da área com GSD de 15 cm;
- Apoio básico a partir de vértices e RN's oficiais do IBGE;
- Apoio fotogramétrico e aerotriangulação;
- Estereorestituição digital na escala de 1:5.000 e curvas de nível eqüidistantes verticalmente de 1 (um) metros. Os temas a serem restituídos são limites de vegetação, rodovias, hidrografia e edificações;
- Ortorretificação, mosaicagem e tratamento final de ortofotos com resolução compatível para a escala de mapeamento para a área;
- Edição cartográfica final com a composição das ortofotocartas na escala de mapeamento.

A metodologia de execução atenderá, onde couber, às especificações seguindo uma padronização dos procedimentos para cada etapa do mapeamento, dentre as quais se utilizam as seguintes normas:

- Para os trabalhos de topografia será observada a NBR 13.133. Esta Norma fixa as condições exigíveis para a execução de levantamento topográfico;
- Para levantamento geodésicos será empregada a Resolução nº 22 - Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro (21/julho/83) publicado pelo Boletim de Serviço do IBGE;
- Especificamente para os trabalhos de aerofotogrametria observar-se-ão as normas publicadas pela Divisão de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, no que couber e complementarmente serão consultados os padrões de precisão de acordo com American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) e usado por U.S. Army Corps of Engineers (USACE), para levantamentos de grandes escalas (maior que 1:20.000), de 31/07/2002;
- Do ponto de vista da legislação pertinente a atividades de aerolevanteamento em território nacional, serão seguidos rigorosamente os procedimentos necessários para obtenção de licença de aerolevanteamento junto ao Ministério da Defesa;
- Referente às precisões dos produtos finais, será atendido ao disposto no Decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984 que estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

## 2.2. GEOLOGIA

Os estudos geológicos existentes consistem basicamente do relato existente no Estudo de Viabilidade do Eixo da Ibiapaba, realizado pelo consórcio Montgomery Watson/Engesoft.

### 2.2.1. Geologia da Serra da Ibiapaba

A Serra de Ibiapaba é uma estrutura monoclinal com direção Norte-Sul, formada por arenito, siltito e conglomerado com camadas encruzilhadas, da Formação Serra Grande de idade Siluriano/Devoniano. O maciço de rocha mergulha suavemente na direção Oeste a menos de 5°.

A base da serra está formada por rochas cristalinas do Período Proterozóico Inferior e Superior constituídos por arenito "arkose", ardósia e calcário do Grupo Ubajara, e rochas Cambrianos (Paleozóico Inferior) tipo arenitos, siltitos e argilitos do Grupo Jaibas.

As encostas características do limite Leste do maciço são formadas por rochedos sub-verticais. Esses rochedos são atravessados localmente pelas drenagens, que seguem em conformação com o intemperismo diferencial e as juntas existentes do maciço rochoso. A decomposição da rocha do maciço em solos é, em geral, pouco profunda. O desenvolvimento de solos é maior ao longo da crista da serra, nas áreas onde ocorrem as maiores precipitações, decrescendo na direção Oeste, sendo comuns os afloramentos de arenito. Os solos são, por natureza, uniformemente arenosos.

A região semi-árida a Leste da Serra da Ibiapaba é formada por complexos de rochas pré-Cambrianas, cristalinos não-diferenciados caracterizados por rochas cristalinas migmatizadas, do tipo gnaiss, xisto, e quartzito, com intrusões de granito e pegmatito, e xenólitos de anfíbolito. A região também apresenta intrusões graníticas alongadas na direção nordeste. A foliação regional é norte-nordeste e a área é caracterizada por dobras com direção paralela a esta foliação. Os afloramentos de rocha cristalina do período pré-Cambriano ocorrem na superfície ou a pouca profundidade na maior parte da região onde está prevista a execução do projeto.

A Serra de Ibiapaba é cortada por duas falhas geológicas, verticais, normais, na direção noroeste. A Falha de Café - Ipoeiras e o Alinhamento Sobral - Pedro II estão próximas das cidades de Inhuçu e Guaraciaba do Norte, respectivamente. O bloco entre as duas falhas sofreu um aprofundamento, formando com isso uma fossa tectônica.

### **2.2.2. Geologia do Local da barragem Inhuçu**

As observações geológicas do local do eixo selecionado, no estudo de Viabilidade, para a barragem Inhuçu, são resumidas ao seguinte texto:

“O fundo do vale e as encostas laterais nos eixos alternativos são caracterizados por afloramentos de arenito são, mas de baixa consistência, da Formação Serra Grande, com intercamamentos finos de siltito. As rochas mergulham levemente para Oeste. Existem depósitos pouco espessos de areia aluvionar adjacente ao leito do rio. Segundo o mapeamento geológico e confirmado pelas sondagens e poços, os eixos alternativos escolhidos para as barragens apresentam ótimas condições de fundação, tanto para uma barragem de gravidade ou de terra. A fundação de uma barragem de gravidade ou terra seria em contato com rocha sã em sua área total, e obrigaria uma escavação de aproximadamente 2,0m de profundidade. Uma barragem de terra provavelmente seria fundada neste aluvião com escavação de apenas 1,0m. Para garantir a permeabilidade da barragem será necessáriaa escavação de um cut-off até rocha sã ao longo do eixo da barragem.

Os afloramentos de rocha mapeados e os testemunhos de sondagem indicam um maciço rochoso pouco intemperizado, mas pouco consolidado e fraco. Além disso o maciço evidencia varias famílias de juntas. A principal delas sendo paralela ao acamamento das rochas sedimentares devido ao alívio de tensão. Dois outros sistemas de juntas subverticais ocorrem com direção N-S e L-O.

Baseado nos ensaios de perda d’água nas sondagens, verifica-se que o maciço rochoso da fundação é bastante permeável até 10m de profundidade, como consequência das fraturas abertas. Esta zona tanto pode ser escavada como injetada com calda de cimento.

Devida a topografia íngreme das ombreiras da barragem e encostas do reservatório e ao acamamento quase horizontal do maciço rochoso, a estabilidade e permeabilidade do reservatório devem ser avaliadas cuidadosamente nos estudos do Projeto Básico “.

### **2.2.3. Geologia do Local da barragem Lontras**

Para o eixo Lontras o estudo de viabilidade teceu algumas observações pioneiras que reproduz-se a seguir:

O fundo do vale e as encostas laterais no eixo são caracterizadas por afloramentos de arenitos são mas de baixa consistência, da Formação Serra Grande, com intercalações de finos de siltito.

As rochas mergulham levemente para Oeste. Existem depósitos pouco espessos de areia aluvionar adjacente ao leito do rio.

Segundo o mapeamento geológico, posteriormente confirmado pelas sondagens e poços, o eixo alternativo escolhido para a barragem apresenta ótimas condições de fundação tanto para uma barragem de gravidade ou de terra. A fundação de uma barragem de gravidade ou terra seria em contato com rocha sã em sua área total e obrigaria uma escavação de aproximadamente 2,0m de profundidade na zona aluvionar do rio. Uma barragem de terra provavelmente seria fundada neste aluvião com escavação apenas do material orgânico da superfície. Para garantir a permeabilidade da barragem será necessária a escavação de um cut-off até rocha sã ao longo do eixo da barragem.

Os afloramentos de rocha mapeados e os testemunhos de sondagem indicam um maciço rochoso pouco intemperizado mas, pouco consolidado e friável. Além disso o maciço evidencia várias famílias de juntas. Sendo a junta principal paralela ao acamamento das rochas sedimentares e gerada pelo alívio de tensões. Dois outros sistemas de juntas sub-verticais ocorrem com direção N-S e L-O.

Baseado nos ensaios de perda d'água nas sondagens constata-se que o maciço rochoso da fundação é bastante permeável até 10m de profundidade, devida a existência de fraturas abertas.

No item 3.4.2 Geologia são apresentados um conjunto de comentários oriundos da visita aos locais dos eixos, inclusive um que aponta a hipótese de processo de colapso do maciço rochoso na ombreira esquerda do eixo Lontras, que recomenda a busca de outro sítio.

### **2.3. GEOTECNIA**

Os estudos geotécnicos disponíveis dizem respeito as investigações realizadas no âmbito da Elaboração do Diagnóstico, dos Estudos Básicos e dos Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba, contratados pela SRH ao Consórcio Montgomery Watson/ Engesoft, em 2000.

Nestes estudos foram realizadas campanhas de sondagens mistas exploratórias no eixo selecionado para as barragens Lontras e Inhuçu, além de investigações de áreas de solos e pedreiras visando o possível uso como material construtivo dos maciços.

### **2.3.1. Campanha de sondagens Mecânicas e Ensaios “in situ”**

Foram executadas duas sondagens mistas, com ensaios de permeabilidade “in situ” (Le Franc) e perda d’água do tipo Lugeon, no eixo do Açude Inhuçu e três sondagens do mesmo tipo no eixo do Açude Lontras.

Nos trechos a percussão utilizou-se os equipamentos e procedimentos estabelecidos na norma brasileira NBR-6484, sendo os avanços executados com trado concha de 4” até ser encontrado materiais resistente a perfuração por este processo ou lençol freático, sendo então revestidas e prosseguidas pelo processo de circulação d’água (lavagem).

Os trechos de rotativa foram executados com barrilete duplo de diâmetro BX empregando-se uma máquina MACH 920 da Maquesonda, de avanço manual.

Os resultados das sondagens são apresentados, no Anexo 1 do Tomo 1B, em forma de perfis individuais do sub-solo.

Foram executados ensaios de permeabilidade “in situ” com carga constante, do tipo “Le Franc”, nas sondagens mista, logo após as determinações dos SPT. Os resultados destes ensaios são apresentados em forma de tabelas no Anexo 2 do Tomo 1B.

No substrato rochoso foram executados ensaios de perda d’água, de acordo com os procedimentos da ABGE, Associação Brasileira de Geologia (Boletim de 02/19/75), cujos resultados são apresentados em forma de tabelas.

Com base nos resultados apresentados na campanha investigativa realizada no eixo da barragem Inhuçu, pode-se aferir que:

- A camada superficial do terreno constitui-se de uma areia muito fina, siltosa, com espessura delgada compreendida entre 0,56 e 1,65 m.
- O substrato rochoso constitui-se exclusivamente de um arenito de granulação fina, consolidado a friável, medianamente a muito fraturado, apresentando fraturas oxidadas e algumas passagens de siltito friável.
- O percentual de recuperação variou de 46% a 100% e o numero de peças por manobra sempre foi muito elevado, situando-se entre 15 e 20 peças por metro de perfuração.
- Os ensaios de perda d’água apresentaram um número elevado de trechos com perda total, caracterizando grande condutibilidade hidráulica pelas fraturas.

Com base nos resultados apresentados na campanha investigativa realizada no eixo da barragem Lontras, pode-se aferir que:

- A camada superficial do terreno constitui-se de uma areia muito fina, siltosa, com espessura delgada, atingindo o máximo de 2,10 m.
- O substrato rochoso constitui-se exclusivamente de um arenito de granulação fina, consolidado, medianamente a extremamente fraturado, apresentando fraturas oxidadas e algumas passagens de até 0,60 m de solos siltosos.
- O percentual de recuperação variou de 51% a 96% e o número médio de peças por manobra situou-se entre 8 e 17 peças, por metro de perfuração.
- Os ensaios de perda d'água da sondagem SR-01 indicaram para a permeabilidade um valor típico de  $5 \times 10^{-5}$  cm/s em toda sua extensão. Nas sondagens SR-02 e SR-03, em quase em toda a sua totalidade, apresentaram os ensaios deram perda total, caracterizando grande condutibilidade hidráulica pelas fraturas.
- Os ensaios de permeabilidade realizados no solo arenoso aluvionar indicaram valores na ordem de  $1 \times 10^{-6}$  e  $3 \times 10^{-7}$ , valores estes incompatíveis com a natureza do referido solo, caracterizando problemas na execução dos ensaios.

### **2.3.2. Estudos preliminares de materiais naturais para uso nas barragens**

No âmbito do estudo de Viabilidade foram identificadas e estudadas duas áreas de ocorrências de solos nas proximidades do eixo da barragem Inhuçu, conforme indicado no desenho de localização de ocorrências reproduzido no Anexo 3.

O empréstimo 1 foi selecionado visando a aplicação em zonas de vedação do maciço, pois a área apresenta solos com características táteis visuais indicativas de menor permeabilidade. O material foi classificado como silte areno argiloso, com pedregulho, cor amarela. As cinco amostras coletadas neste local foram submetidas a ensaios de caracterização que mostraram a predominância de areia fina, com percentual da fração silte/argila variando entre 11 e 34%, e baixa plasticidade (variando de não plástico a um  $IP=9\%$ ). Nenhum ensaio de permeabilidade foi realizado, portanto não foi possível ratificar a possibilidade de uso deste solo como elemento de vedação.

O empréstimo 2 encontra-se situado na zona baixa do vale, dentro do futuro reservatório da barragem Inhuçu. Ele foi selecionado visando o uso nos espaldares do maciço, aproveitando o

fato positivo de apresentar pequena distancia de transporte e não necessitar de indenizações adicionais. O solo constituído de areia siltosa, sem qualquer coesão, não foi ensaiado.

O afloramento de arenito, situado na ombreira esquerda e escolhido como possível área de pedreira, não foi ensaiado quanto ao desgaste Los Angeles.

No sítio da barragem Lontras foram identificadas duas áreas, na zona alta de cada ombreira, com solo classificado tático visual como areia argilosa e silte argiloso, com cascalho ou bloco de pedra, de cor avermelhada. O desenho reproduzido no Anexo 4, apresenta a localização das áreas de empréstimo, assim como de um afloramento rochoso, preliminarmente selecionado como pedreira

Os ensaios em três amostras do empréstimo 1, mostraram a presença de solo silto argiloso com IP superior a 11%, passando cerca de 80% na peneira nº 200 e de solo areno argiloso com IP de 14% e porcentagem passando na peneira nº 200 de 30%.

Igual numero de ensaios realizados em amostras extraídas do empréstimo 2, indicaram a presença de solo areno argiloso, com IP de 13%, 28% passando na peneira nº 200, com densidade máxima de 1.800 kgf/m<sup>3</sup> e umidade ótima de 14%, quando compactado na energia do Proctor Normal.

Nestes empréstimos não foram pesquisadas as características de permeabilidade dos solos.

Em amostras coletadas da superfície exposta do afloramento de rocha arenítica, selecionada como pedreira, foi realizado um ensaio de desgaste Los Angeles que apresentou um desgaste de 70%.

Os boletins de campo dos poços de investigação das áreas de empréstimos e o resumo dos ensaios elaborados sobre amostras retiradas nestes poços, são apresentados no Anexo 5.

## 2.4. HIDROLOGIA

### 2.4.1. Climatologia

Os estudos de clima específicos disponíveis para região do presente trabalho contemplam os correspondentes ao Diagnóstico que precedeu os Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba de 2002. Nos documentos decorrentes de tal estudo constam diagnósticos mais amplos envolvendo não só a bacia do Parnaíba (doadora) como também as bacias hidrográficas do Acaraú e Coreaú, potenciais receptoras das águas transpostas.

A região do Projeto do Eixo de Integração da Ibiapaba conta com 2 (três) estações Climatológicas mais representativas, sendo 1 (uma) localizada na bacia do Acaraú, estação Sobral, e 1 (uma) na bacia do Poti, estação Crateús, conforme pode ser observado na **Figura 2.3**.

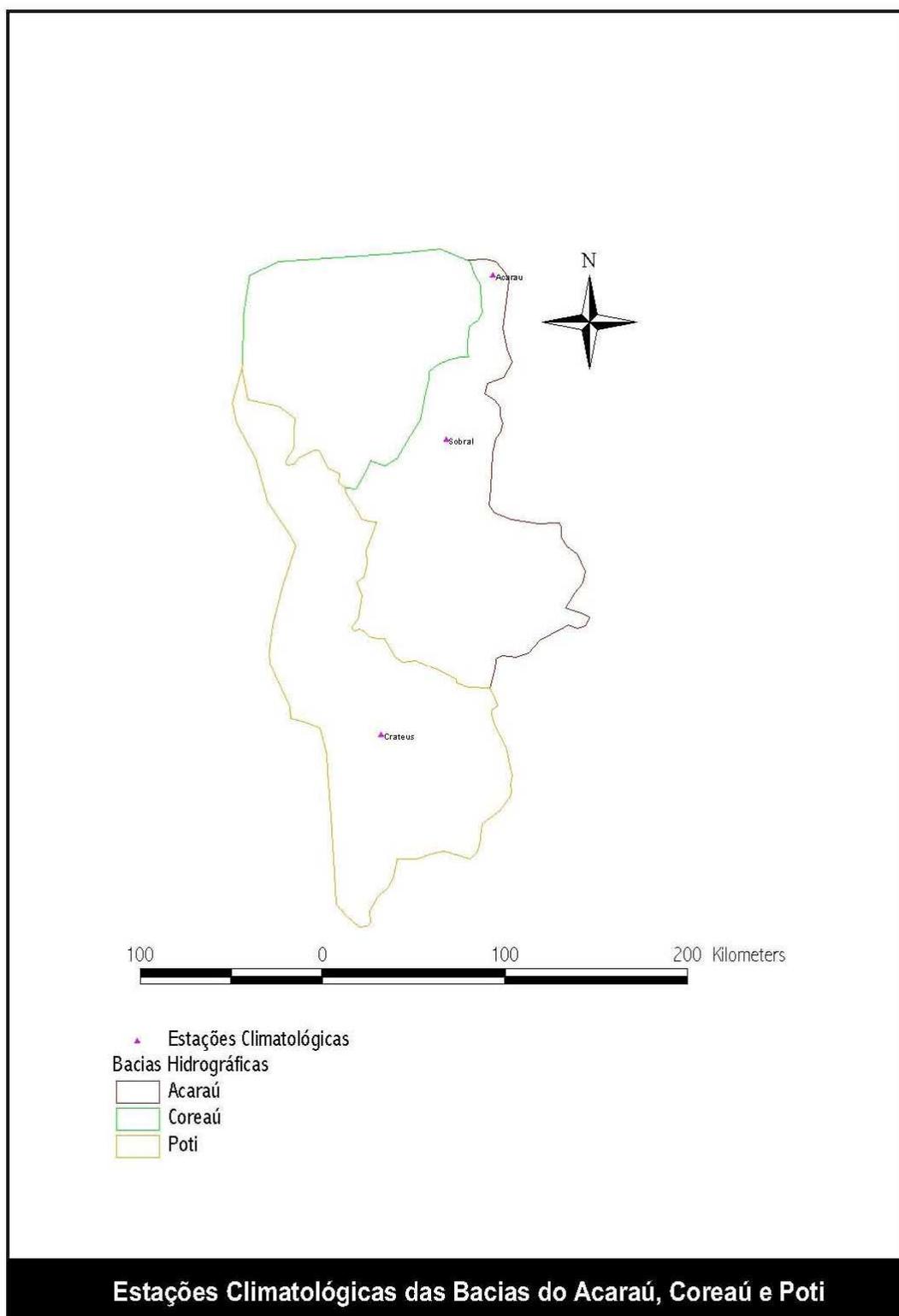
A seguir apresenta-se síntese do diagnóstico elaborado já devidamente ajustada pelos dados climáticos atuais para a área de influência das obras de transposição (reservatórios e túnel/PCH).

#### 2.4.1.1. O clima da Região

Pode-se distinguir bem o clima predominante na região em dois tipos: no primeiro verificam-se microclimas mais amenos, devido a ocorrência de altitudes mais elevadas, e o segundo, da região do Carrasco da Ibiapaba, e as áreas da bacia do Acaraú que receberão as águas transpostas caracterizado pelo clima mais árido correspondendo às zonas do sertão que não têm grandes altitudes.

Com exceção dos microclimas bem definidos das áreas altas da Serra da Ibiapaba, o clima predominante é quente e estável, de elevadas temperaturas e reduzidas amplitudes, com acentuada taxa de insolação, forte poder evaporante e, acima de tudo, com um regime pluviométrico assinaladamente irregular. Esta última particularidade, que também se observa nas zonas de microclima, se constitui, realmente, na característica climática básica.

A distribuição espacial das médias dos totais anuais precipitados na região contemplada no projeto pode ser observada no Mapa de Isoietas da **Figura 2.4** a seguir. Pode-se notar uma alta pluviometria na porção leste da região, justificada pela influência da Serra da Ibiapaba, na faixa litorânea e em altitudes elevadas localizadas. Observa-se que as Serras por se posicionarem frontalmente ao deslocamento das massas úmidas, causam abundantes chuvas orográficas, possuindo índices que variam de 800 a mais de 1.000mm. No entanto, uma região de maior aridez, com índice inferior a 800 mm, abrange parcela significativa da porção centro-sul da região, abrangendo quase toda a bacia do rio Poti.



**Figura 2.3: Estações Climatológicas das Bacias do Acaraú, Coreaú e Poti**

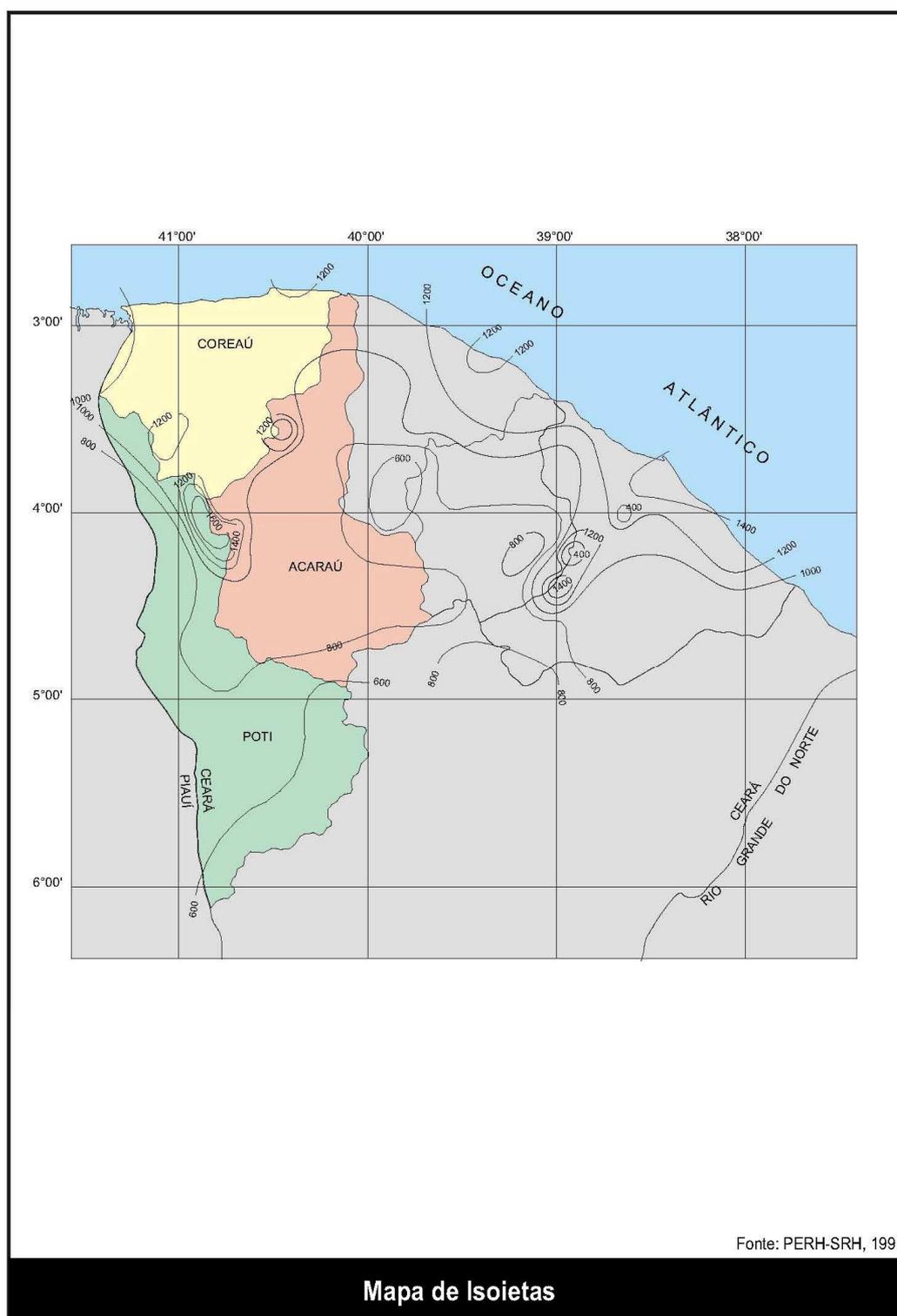
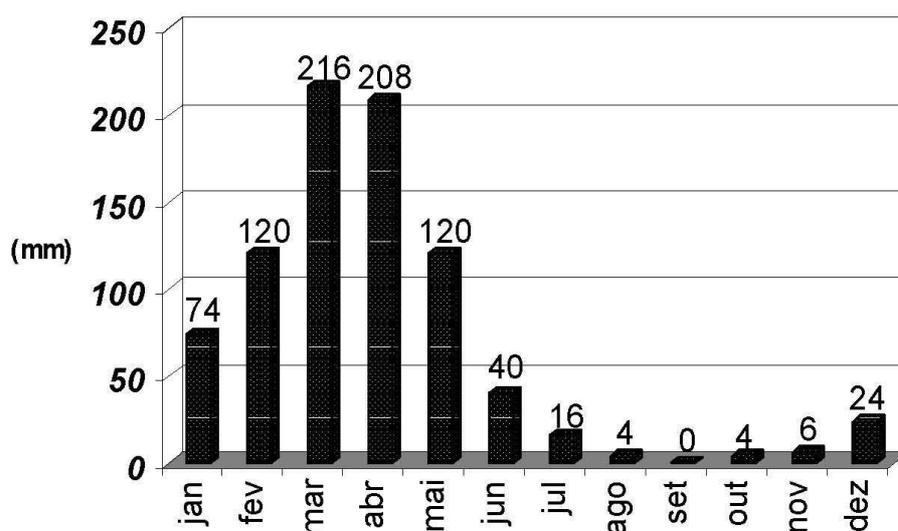


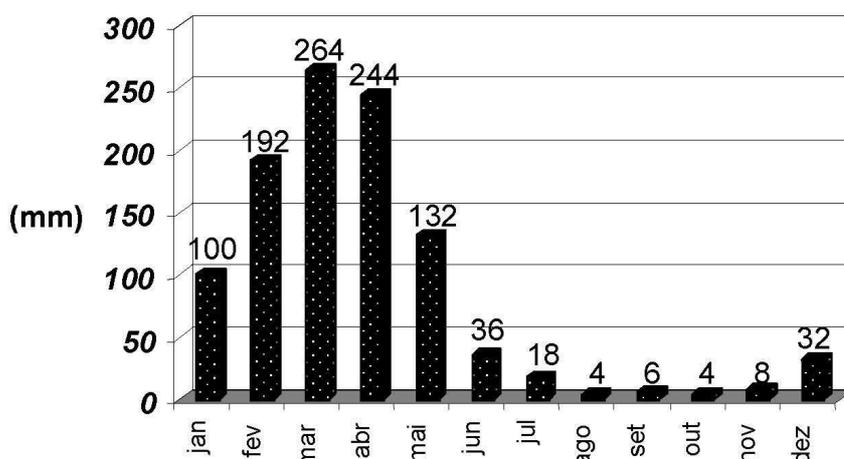
Figura 2.4: Mapa das Isoietas

A nível anual, a chuva distribui-se de forma irregular, sendo comum variações interanuais significativas, alternando-se anos próximos e acima da média com períodos de seca que dificultam o desenvolvimento sócio-econômico regional. A situação se agrava pelo fato de que, freqüentemente, os anos deficientes não ocorrem individualmente e, sim, em períodos contínuos que podem se prolongar por bem mais de um ano. Intra-anualmente, a chuva distribui-se de forma irregular, havendo uma concentração de aproximadamente 90 % do total precipitado no primeiro semestre do ano, sendo que cerca de 65 % do total anual precipitado concentra-se no trimestre Março-Abril-Maio, sendo o mês mais chuvoso o mês de Março, com aproximadamente 25 % do total anual precipitado. Na região da Serra da Ibiapaba, o trimestre chuvoso desloca-se para os meses de Fevereiro-Março-Abril.

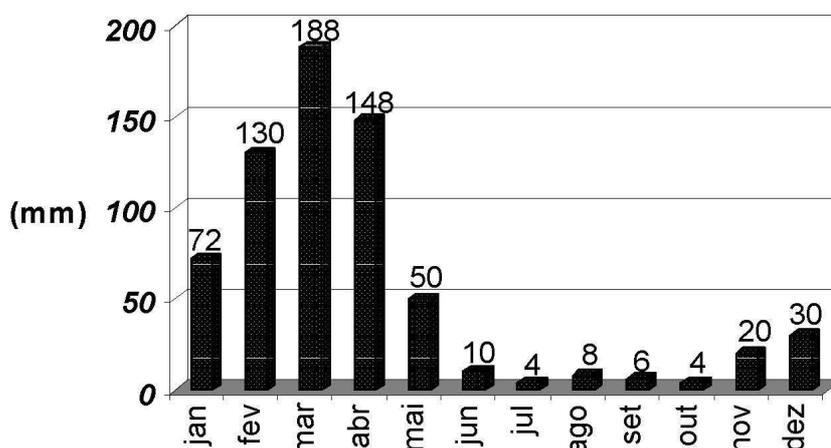
Para melhor demonstrar a distribuição irregular intra-anual da chuva na região, estão apresentados nas **Figuras 2.5, 2.6 e 2.7**, hietogramas de chuva média anual, de postos pluviométricos pertencentes às bacias do Poti, Coreaú e Acaraú, respectivamente.



**Figura 2.5: Hietograma Típico da Bacia do Acaraú, no Posto Sobral**



**Figura 2.6: Hietograma Típico da Bacia do Coreau, no Posto Granja**



**Figura 2.7: Hietograma Típico da Bacia do Poti, no Posto Novo Oriente**

Analisando-se a distribuição da rede pluviométrica por bacia, constata-se que a bacia onde serão projetados os reservatórios, do Poti Cearense possui 30 estações, distribuídas nos 16.901 km<sup>2</sup> da bacia, resultando em uma densidade de 1 posto a cada 0,0018 km<sup>2</sup>.

Os hietogramas apresentados referem-se às médias mensais, representando o comportamento em geral observado, especialmente, para os anos normais e úmidos. Quando da ocorrência de anos secos, pode ocorrer uma distribuição ainda mais irregular, com maior concentração das chuvas nos meses de março a maio. Sendo assim, não é raro que alguns anos reconhecidamente deficientes apresentem índices anuais próximos do médio. Conclui-se, portanto, que os anos podem ser considerados deficientes (secos) seja em função da quantidade de chuvas, seja em função da sua distribuição ao longo dos meses.

Com referência á evaporação, nas estações representativas da região estão disponíveis os dados de evaporação em Tanque Classe A, cujos valores médios de evaporação estão apresentados no **Quadro 2.1** a seguir.

**Quadro 2.1: Evaporação Média Mensal em Tanque Classe A (mm) na Região do Projeto da Ibiapaba**

<i>Estação</i>	<i>Jan</i>	<i>Fev</i>	<i>Mar</i>	<i>Abr</i>	<i>Mai</i>	<i>Jun</i>	<i>Jul</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Out</i>	<i>Nov</i>	<i>Dez</i>	<i>Total</i>
<b>Acaraú</b>	202	184	116	91	111	154	192	262	282	291	284	258	2427
<b>Sobral</b>	228	187	160	138	147	152	203	235	259	296	281	276	2562
<b>Crateús</b>	250	147	112	97	134	188	275	327	358	395	372	334	2989

Fonte: Plano Estadual dos Recursos Hídricos - Bloco 2 (SRH,1991).

A estação climatológica Crateús está localizada na região mais semi-árida do Estado do Ceará, exatamente na região central da bacia do rio Poti, como pode ser observado na **Figura 2.3**.

Dentre as estações climatológicas localizadas na área de abrangência do presente projeto, a de Crateús é a que apresenta a maior evaporação anual, em torno de 2.989 mm, medida em tanque Classe A, sendo que o período de maior evaporação vai de julho a dezembro. Quando da ocorrência de anos muito secos, as alturas totais de evaporação são ainda mais altas, podendo superar 3.300 mm. Nestes casos, a diferença entre as taxas do 1º e 2º semestres reduz-se acentuadamente.

O clima quente e estável se constata através das temperaturas médias elevadas e amplitudes reduzidas. Nas regiões mais áridas, localizadas nos interiores da região a mais baixas altitudes, a temperatura média sobe para o patamar de 28°C, enquanto que as temperaturas médias máximas ficam em torno de 33º a 34°C. Em termos absolutos, as temperaturas, neste segundo caso, podem elevar-se a plataformas superiores a 38°C em casos raros, sendo mais usuais tetos de 35°C a 37°C. Este último tipo de clima é predominante na bacia do Poti, caracterizada por um clima semi-árido rigoroso na sua porção centro-sul. No entanto a temperatura média atinge patamares mais amenos na Serra da Ibiapaba decaindo para 25°C.

Os ventos apresentam velocidades maiores no segundo semestre, quando a velocidade média predominante é de 3m/s a 4 m/s, enquanto que no primeiro semestre, principalmente antes do início dos períodos chuvosos mais abundantes, reduzem-se bastante.

Para a bacia do Acaraú, durante o segundo semestre, a velocidade média predominante é em torno de 3 m/s, na estação Sobral.

Para a estação climatológica Crateús, na bacia Poti, a velocidade média predominante é de 3,5 m/s no segundo semestre, e cerca de 2 m/s no primeiro semestre.

A umidade relativa do ar, bem como a maior parte dos parâmetros climáticos, está intimamente relacionada com a pluviosidade. No período de chuvas, concentrado no 1º semestre do ano, a umidade quase sempre supera 80%, sendo que no período de estiagem, cujo período crítico ocorre nos meses de setembro a novembro, a umidade reduz-se sensivelmente, atingindo a faixa de 50%. Nas regiões mais litorâneas, tal diminuição é bem menor, situando-se, geralmente, entre 60% e 65%. A estação climatológica de Crateús têm valores médios de umidade fluando entre 45% e 58% para o mesmo período.

Uma das principais características do clima regional diz respeito à favorável insolação, alterando-se muito pouco, em termos espaciais, o número médio de horas de insolação, não diferenciando muito entre duas estações analisadas em questão. A bacia do Acaraú possui valores médios de insolação de 2.700 horas/ano e a bacia do Poti 2.613 horas/ano. A variação em termos temporais, ao longo do ano, também não apresenta variações sensíveis, atingindo os menores valores nos meses de maior pluviometria, uma faixa em torno de 6,0 horas/dia, e no auge da estiagem sobem a cerca de 9 horas/dia.

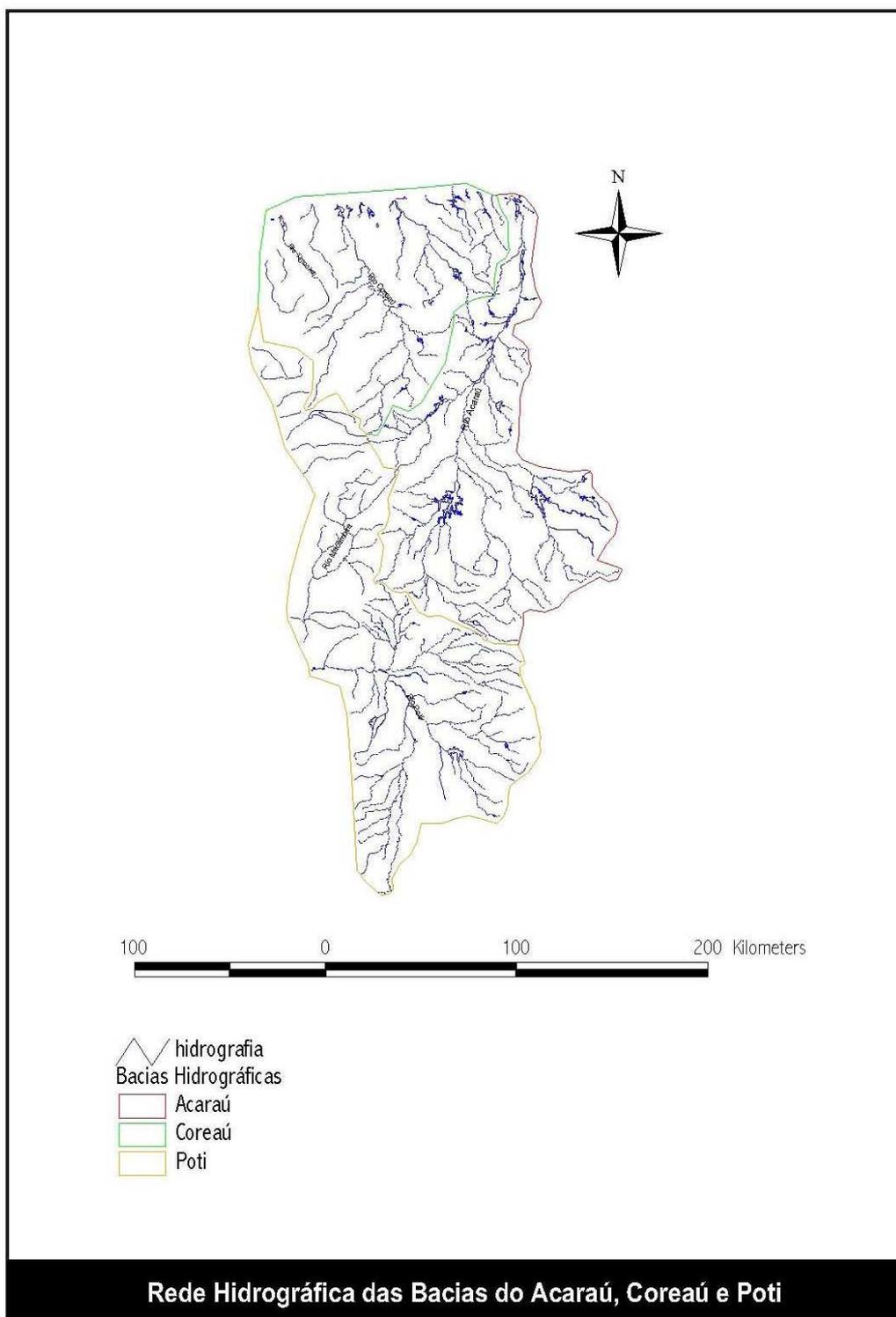
## **2.4.2. Estudo de Deflúvios Anteriores**

### **2.4.2.1. Generalidades**

Os estudos de deflúvios disponíveis referem-se a “Elaboração do Diagnóstico, dos Estudos Básicos e dos Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba” elaborados no âmbito do Programa PROGERIRH objeto do Contrato No. 18/PROGERIRH/CE/SRH/98-PILOTO, firmado com a Secretaria dos Recursos Hídricos pelo consórcio Montgomery Watson/Engesoft.

### **2.4.2.2. Os Recursos Hídricos Superficiais**

A região estudada anteriormente no Eixo de Integração da Ibiapaba é formada pelas bacias do Acaraú e Coreaú, receptoras e do Poti doadora de águas para o projeto, as quais podem ser identificadas na **Figura 2.8**.



**Figura 2.8: Rede Hidrográfica das Bacias do Acaraú, Coreaú e Poti**

### **A Bacia Receptora da Transposição - do Acaraú**

Seu trecho inicial é caracterizado por uma forte declividade, sendo que a declividade se reduz bastante em seu primeiro terço do percurso, caracterizando-se o restante da bacia como relevo suave. Dois acidentes topográficos são os que determinam o relevo forte desta bacia. Nas nascentes, porção sul, estão localizadas as Serras das Matas e do Machado, e na região central, a noroeste, ocorre a Serra da Meruoca.

O diferencial desta bacia com relação à bacia do Poti deve-se à ocorrência de grandes enchentes na sua parcela final, justificada tanto pela elevada pluviometria das regiões montanhosas, como pela configuração particular da bacia do Acaraú, a qual apresenta na parcela de montante um formato tendendo ao circular, e na de jusante um formato estreito e longilíneo.

### **A Bacia Doadora onde serão implantados os reservatórios - do Poti**

A rede hidrográfica da bacia do rio Poti, é formada pelo rio homônimo e pelo seu afluente Macambira, cuja confluência só se dá no Piauí logo após a fronteira entre os Estados do Ceará e do Piauí. O rio Poti nasce na Serra dos Cariris Novos, em cotas próximas de 800 m, na divisa dos Estados do Piauí e Ceará, desenvolvendo-se por uma extensão de 192,5 km no território cearense, drenando uma área das mais semi-áridas do Estado, na microrregião dos Sertões de Crateús. Seus principais afluentes são: pela margem direita, o riacho do Meio, que decorre da junção dos Riachos Independência e Jucá, o riacho do Mato e o rio Jatobá. Por sua vez, o rio Macambira drena toda uma região de transição, situada no planalto da Ibiapaba, o que lhe confere a rara condição, no Estado, de curso perene.

A bacia dos rios Longá/Pirangi é formada por 8 (oito) bacias independentes, cujas nascentes situam-se na face leste da Serra da Ibiapaba, região de alto índice pluviométrico, se prolongando para o Estado do Piauí. Estas bacias têm características físicas semelhantes: são de pequeno porte, de formato preferencialmente retangular e longilíneo, com o rio principal desenvolvendo-se no sentido leste-oeste com elevadas declividades.

#### *2.4.2.3. Estações Fluviométricas*

Segundo o “Inventário das Estações Fluviométricas - DNAEE, 1987”, a região das bacias do Acaraú, Coreaú e Poti contava, na época dos estudos, com um cadastro de 39 estações fluviométricas, sendo que das 39, 28 localizam-se na bacia do Acaraú, 9 na bacia do Coreaú e 2 na bacia do rio Poti.

Em síntese, de acordo com o **Quadro 2.2**, as estações fluviométricas que tinham disponibilidade real de dados eram: 11 estações para a bacia do Acaraú, 3 para a do Coreaú e 1 para a do Poti.

**Quadro 2.2: Estações Fluviométricas Utilizáveis nas Bacias do Acaraú, Coreaú e Poti**

<i>BACIA</i>	<i>NOME DA ESTAÇÃO</i>	<i>CURSO D'ÁGUA</i>	<i>ÁREA CONTROLADA (km<sup>2</sup>)</i>	<i>DATA DE INSTALAÇÃO</i>
<b>Acaraú</b>	Fz. Cajazeiras	Acaraú	1.530,00	05/62
<b>Acaraú</b>	Irajá	Feitosa	490,00	03/68
<b>Acaraú</b>	Açude Araras	Acaraú	3.501,00	02/71
<b>Acaraú</b>	Fz. Transval	Acaraú	3.535,00	02/62
<b>Acaraú</b>	Várzea do Grosso	Acaraú	3.678,00	10/70
<b>Acaraú</b>	Trapiá	Macacos	1.505,00	02/68
<b>Acaraú</b>	Fz. Parana	Groaíras	2.377,00	04/68
<b>Acaraú</b>	Groaíras	Groaíras	2.698,00	02/68
<b>Acaraú</b>	Arariús	Jaibara	561,00	10/68
<b>Acaraú</b>	Fz. Timburana	Jaibara	1.105,00	02/68
<b>Acaraú</b>	Sobral	Acaraú	11.210,00	09/11
<b>Acaraú</b>	Açude Sobral <sup>(*)</sup>	Acaraú	11.210,00	09/11
<b>Coreaú</b>	Coreaú (Palma)	Coreaú	895,00	09/21
<b>Coreaú</b>	Paula Pessoa	Itacolomi	858,00	07/68
<b>Coreaú</b>	Granja	Coreaú	3.786,00	09/11
<b>Poti</b>	Croatá	Macambira	1.050,00	02/62

(\*) Estação de Sobral reinstalada.

Para a bacia do Poti, onde serão implantados os reservatórios projetados o estudo do escoamento superficial foi considerado na ocasião como bastante problemático para as bacias independentes que compõem a do Longá/Pirangi, uma vez que não se tinha nenhuma estação fluviométrica nestas bacias e as mesmas estão situadas numa região muito particular do Estado, com parcela de microclima úmido e geologia sedimentar.

A CPRM - Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais, Residência Fortaleza, que opera as estações fluviométricas no Estado, contava com dados atualizados até 1996 para 7 (sete) estações da rede fluviométrica da bacia do Acaraú, para 2 (duas) na bacia do Coreaú e 1 (uma) na bacia do Poti, sendo esta última atualizada até 1991.

#### 2.4.2.4. Escoamento Superficial

De acordo com os estudos naquela época para a transposição da Ibiapaba, o escoamento superficial na região como um todo varia, em termos de coeficiente de escoamento, de 10% a 20%, sendo que nas regiões mais secas os coeficientes ficam em torno de 10% e as zonas cristalinas mais úmidas apresentam os maiores coeficientes de escoamento, em torno de 20%.

Ao nível de bacia hidrográfica, o escoamento superficial na bacia do rio Poti, propriamente dita, fica em torno de 16%, valor estimado nos estudos anteriores para a estação fluviométrica de Croatá, a qual se situa numa região de transição, no rio Macambira, drenando a parcela sedimentar e úmida desta bacia.

Os estudos de deflúvios realizados em 2000 tiveram por objetivo obter séries de vazões afluentes aos reservatórios de 1912 a 1997. Para isto foram utilizadas as séries de vazões das estações fluviométricas estudadas no PERH (1992) - Plano Estadual de Recursos Hídricos, o qual obteve séries de vazões de 1912-1988 para 9 (nove) estações fluviométricas na região, além dos dados de vazões observadas para 16 (dezesesseis) estações fluviométricas operadas pela CPRM - Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais, que permitiu o prolongamento das séries do PERH até o ano de 1997.

As estações fluviométricas, cujas séries foram geradas no PERH através do programa chuva-deflúvio MODHAC e que foram utilizadas no estudo citado, são: Arariús, Croatá, Faz. Cajazeiras, Granja e Trapiá. Além destas, a estação de Arneiroz, pertencente a bacia do Jaguaribe e cuja série de 1912 a 1997 foi gerada no Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Jaguaribe, foi utilizada para transpor dados para a estação Ibiapaba.

Vale ressaltar que no caso na estação de Ibiapaba foi necessário a utilização de dados de estações da bacia do Alto Jaguaribe, mais especificamente da estação do Arneiroz, para se obter toda a série desejada. Isto é possível porque as bacias drenadas pelas estações Ibiapaba e Arneiroz possuem características fisiográficas e climáticas bastante semelhantes, e, conseqüentemente, condições de escoamento similares. A consideração da estação da Ibiapaba no estudo é de primordial importância, uma vez que a mesma drena toda a região composta pela bacia hidrográfica do rio Poti no Estado do Ceará, os Sertões de Crateús.

#### 2.4.2.5. Vazões Regularizadas dos Reservatórios

Na determinação do comportamento dos reservatórios foi utilizada a metodologia da operação simulada. A operação simulada consiste em atribuir regras de retirada de água do reservatório e

estudar qual teria sido o comportamento desse reservatório, em uma determinada série de vazões afluentes, caso essa regra de operação houvesse sido obedecida.

Para avaliar o balanço hídrico foi utilizado o programa computacional SIMRES, desenvolvido na Universidade Federal do Ceará em linguagem FORTRAN 4.0.e DELPHI 4.0. O Programa resolve a equação do balanço hídrico por um processo de integração em que a unidade de tempo é dividida em N partes e as retiradas em lâmina (evaporação e precipitação) e em volume (deflúvios - regularização) são divididas por N e retiradas alternadamente. Quando N é muito grande, o processo reproduz a simultaneidade das retiradas que ocorrem na prática. Os resultados das simulações efetuadas com os reservatórios isoladamente está apresentado no **Quadro 2.3**.

**Quadro 2.3: Resultados do Estudo Hidrológico para a Rede de Grande Açudagem das Bacias do Acaraú, Coreau e Poti**

Bacia Hidrográfica	Açude	Deflúvio Médio (hm <sup>3</sup> /ano)	Coefficiente Variação Deflúvios (CV)	Capacidade Reservatório (hm <sup>3</sup> )	V90 (hm <sup>3</sup> /ano)	Q90 (m <sup>3</sup> /s)	Média Retiradas (hm <sup>3</sup> /ano)	Seca Hidrológica Máxima (mês)	Período Simulado	Média Sangria (hm <sup>3</sup> /ano)	Média Evaporação (hm <sup>3</sup> /ano)	Rendimento Hidrológico (%)
ACARAÚ	Acaraú Mirim	139,28	1,17	52,00	22,752	0,72	20,60	34	1912-1997	114,32	4,67	14,79
	Arrebite	18,63	1,23	19,60	5,319	0,17	4,84	30	1912-1997	11,47	2,49	25,98
	Ayres de Souza	316,05	1,17	104,43	47,437	1,50	42,93	35	1912-1997	264,87	8,78	13,58
	Carão	39,88	1,24	26,23	6,978	0,22	6,34	29	1912-1997	29,60	4,10	15,90
	Edson Queiroz (Serrote)	243,43	1,24	250,50	77,088	2,44	70,07	27	1912-1997	157,85	16,90	28,78
	Farias de Souza	10,87	1,23	12,25	3,364	0,11	3,06	29	1912-1997	6,46	1,45	28,15
	Forquilha	48,32	1,23	50,13	14,166	0,45	12,88	30	1912-1997	29,74	6,16	26,66
	Paulo Sarasate (Araras)	459,78	1,27	891,11	193,593	6,14	176,48	20	1912-1997	237,98	48,88	38,38
	São Vicente	18,74	1,23	9,85	3,730	0,12	3,39	33	1912-1997	14,49	0,93	18,09
COREAU	Angicos	57,21	1,23	56,05	16,237	0,51	14,83	30	1912-1997	36,74	6,01	25,92
	Diamante	7,36	1,19	12,96	9,980	0,32	2,42	22	1912-1997	3,50	1,47	32,88
	Gangorra	31,11	1,16	62,50	12,828	0,41	11,71	25	1912-1997	14,10	5,32	37,64
	Itaúna	210,56	1,17	77,50	28,543	0,91	25,98	35	1912-1997	175,53	9,01	12,34
	Martindpole	39,74	1,16	23,20	8,739	0,28	7,96	33	1912-1997	30,36	1,60	20,03
	Tucunduba	76,73	1,16	40,20	16,518	0,52	15,02	34	1912-1997	60,07	1,91	19,58
	Várzea da Volta	46,13	1,16	12,50	5,452	0,17	4,95	33	1912-1997	39,31	1,94	10,73
POTI	Barra Velha	96,14	1,21	99,50	18,818	0,60	17,09	52	1912-1988	61,14	18,30	17,78
	Camauabal	199,04	1,34	87,69	19,688	0,62	17,90	42	1912-1988	164,19	17,40	8,99
	Colina (*)	41,92	1,21	3,26	0,711	0,02	0,65	47	1912-1988	40,30	0,99	1,55
	Flor do Campo	79,51	1,22	111,30	20,706	0,66	18,81	49	1912-1988	43,62	17,09	23,66
	Jaburu I	156,53	0,71	210,00	117,613	3,73	109,56	23	1912-1997	37,52	10,62	69,99
	Jaburu II	103,12	1,21	127,70	19,984	0,63	18,21	51	1912-1988	57,95	27,24	17,66
	Realejo	24,31	1,21	31,55	6,067	0,19	5,51	50	1912-1988	13,60	5,24	22,67
	Sucesso	31,85	1,21	10,00	1,990	0,06	1,81	43	1912-1988	27,55	2,54	5,68
TOTAL	2496,24	-	-	-	678,30	21,51	613,00	-	-	1672,26	221,04	-
MÉDIA	-	-	1,19	-	-	-	-	35	-	-	-	22,39

(\*) O Reservatório Colina foi incluso entre os reservatórios estudados por abastecer a sede municipal de Quiterianópolis e se situar a montante do reservatório Flor do Campo.

Uma vez realizado o estudo hidrológico de todos os açudes de interesse, elaborou-se um quadro resumo com o intuito de se realizar uma análise comparativa entre os resultados de vazão regularizada obtidos neste projeto e os do PERH. Tais resultados estão apresentados no **Quadro 2.4** a seguir.

**Quadro 2.4: Análise comparativa entre o Projeto Ibiapaba e o PERH com relação aos valores de vazão regularizada dos açudes de interesse das bacias do Acaraú, Coreau e Poti**

Bacia Hidrográfica	Açude	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	Deflúvio médio afluente (hm <sup>3</sup> /ano)		Q90(m <sup>3</sup> /s)	
			Proj. Ibiapaba	P.E.R.H.	Proj. Ibiapaba	P.E.R.H.
ACARAÚ	Acaraú Mirim	52.00	139.28	136.46	0.72	0.68
	Arrebite	19.60	18.63	-	0.17	-
	Ayres de Souza	104.43	316.05	224.41	1.50	1.92
	Carão	26.23	39.88	24.49	0.22	0.15
	Edson Queiroz (Serrote)	250.50	243.43	149.51	2.44	1.75
	Farias de Souza	12.25	10.87	9.28	0.11	0.11
	Forquilha	50.13	48.32	29.38	0.45	0.38
	Paulo Sarasate (Araras)	891.11	459.78	563.31	6.14	9.27
	São Vicente	9.85	18.74	10.32	0.12	0.10
COREAÚ	Angicos	56.05	57.21	-	0.51	<b>0.73*</b>
	Diamante	12.96	7.36	-	0.32	<b>0.05**</b>
	Gangorra	62.50	31.11	-	0.41	<b>0.24**</b>
	Itaúna	77.50	210.56	-	0.91	<b>1.13*</b>
	Martinópolis	23.20	39.74	42.96	0.28	0.29
	Tucunduba	40.20	76.73	136.46	0.52	1.14
	Várzea da Volta	12.50	46.13	50.69	0.17	0.25
POTI	Barra Velha	99.50	96.14	-	0.60	<b>0.50*</b>
	Carnaubal	87.69	199.04	174.85	0.62	0.70
	Colinas (*)	3.26	41.92	-	0.02	-
	Flor do Campo	111.30	79.51	-	0.66	<b>0.38*</b>
	Jaburu I	210.00	156.53	167.14	3.73	4.28
	Jaburu II	127.70	103.12	64.24	0.63	0.65
	Realejo	31.55	24.31	20.61	0.19	0.30
	Sucesso	10.00	31.85	-	0.06	-

\* Descargas regularizadas para 90% de garantia obtida dos projetos executivos das respectivas barragens.

#### 2.4.2.6. Resultados dos Estudos de Balanço para a Alternativa de Projeto

Os estudos realizados anteriormente consideraram a Garantia das Vazões Médias Fornecidas, diferentemente da Garantia Mensal a qual faz uma avaliação do ponto de vista temporal, refere-se a uma análise do ponto de vista volumétrico. A Garantia das Vazões Médias Fornecidas, em percentagem, é dada portanto pela relação:

$$100 R_e = \frac{V_{\text{querido}}}{V_{\text{Fornecido}}} G_V$$

Sendo:

- $G_v$  a garantia das vazões médias fornecidas em percentagem;
- $V_{\text{Fornecido}}$  a vazão média fornecida a demanda durante o período simulado (1912-1997);
- $V_{\text{Requerido}}$  a vazão média requerida pela demanda.

O sistema hídrico previsto, a ser considerado no presente RIO insere-se resultante na Alternativa selecionada pelos estudos tendo a seguinte configuração do **Quadro 2.5**.

### Quadro 2.5: Configuração Final da Alternativa Selecionada

Infra-Estrutura Planejada					
Açudagem	Capacidade (hm <sup>3</sup> )	Bacia Hidrográfica	Área da Bacia Hidrográfica (Km <sup>2</sup> )*	Vazão Regularizada (m <sup>3</sup> /s)	Garantia (%)
Fronteiras	950,00	Poti	5.866,22	9,0	95
Inhuçu	325,00	Poti	911,50	2,6	94
Lontras	142,00	Poti	515,45	1,4	95
Paula Pessoa	167,00	Coreaú	982,65	1,7	95
Frecheirinha	85,00	Coreaú	195,81	0,5	95
Taquara	278,80	Acaraú	558,80	2,9 <sup>4</sup>	90
Adução	Extensão (Km)	Bacia Hidrográfica	Fonte Hídrica		
Túnel do Aç. Lontras à Hidrelétrica	18,0	Transposição Poti/Acaraú	Sistema composto pelos Aç. Inhuçu e Lontras		
Adutora do Aç. Jaburu I	38,1	Transposição Poti/Acaraú	Aç. Jaburu I		
Canal Poti Sul	107,7	Poti	Aç. Fronteiras		
Adutora de Ararendá/Ipaporanga/Nova Russas	103,1	Poti e Acaraú	Sistema composto pelos Aç. Inhuçu e Lontras		
Geração de Energia	Capacidade	Bacia Hidrográfica	Fonte Hídrica		
Hidrelétrica	6 MW	Acaraú	Sistema composto pelos Aç. Inhuçu e Lontras		

(\*) A área da bacia hidrográfica refere-se à região não controlada pelos açudes de montante.

## 2.5. ASPECTOS GERAIS DA SOCIOECONOMIA DA ÁREA A SER IMPACTADA PELAS OBRAS E EXPECTATIVAS DA POPULAÇÃO FACE AO SEU REASSENTAMENTO COMPULSÓRIO

No mapa apresentado no Anexo 10 do Tomo 1B, é mostrada a área que será diretamente impactada com a construção das obras do Eixo de Integração da Ibiapaba (Barragens Lontras e Inhuçu e Canal/Túnel/PCH).

No espaço da área total estudada foram identificados, ao nível do estudo de viabilidade anteriormente elaborado, dois boqueirões barráveis (Inhuçu e Lontras) nos quais estão situados 417 imóveis em Inhuçu e 265 imóveis em Lontras, os quais seriam inundados com a construção das respectivas barragens.

Atualmente, no desenvolvimento dos estudos de projetos executivos que vêm sendo executados, outros locais barráveis estão sendo estudados, nos quais foram anotados os imóveis ali existentes, assim distribuídos:

- Na Barragem Inhuçu

- Eixo 1: 464 imóveis
- Eixo 2: 493 imóveis
- Eixo 3: 537 imóveis

Eixo Inhuçu/Sotero: último eixo estudado com vistas a retirar da área a ser inundada pelo lago da barragem a localidade de Barra do Sotero ocupada atualmente por cerca de 310 famílias. A área desse eixo é pouco povoada, relativamente aos outros eixos barráveis.

– Na Barragem Lontras

- Eixo 1: 270 imóveis
- Eixo 2 : 271 imóveis
- Eixo Lontras (escolhido a nível de viabilidade como o mais favorável): 265 imóveis

As áreas antes referidas foram visitadas pela equipe de estudos socioeconômicos do Consórcio EngeSoft/IBI, nesta fase inicial dos estudos, tendo ali sido aplicados alguns questionários, de forma amostral, objetivando um primeiro conhecimento da situação atual das famílias moradoras do local, do ponto de vista econômico e social.

É evidente que, posteriormente, quando em definitivo forem selecionados os locais barráveis para construção dos reservatórios de Lontras e Inhuçu, será realizado um levantamento exaustivo das condições de habitabilidade, de renda e sociais de todas as famílias que serão diretamente impactadas.

Na pesquisa amostral realizada na área foram aplicados 50 questionários, sendo 25 em Barra do Sotero, 10 em Melancias, 5 em Volta do Rio e 10 em Irapuá, localidades espacialmente distribuídas em toda área do estudo.

Nas Tabelas apresentadas no Anexo 11 do Tomo 1B constam dados da pesquisa, de cujos resultados são feitas algumas considerações.

A maior localidade situada na área pesquisada é Barra do Sotero. Trata-se de uma comunidade bem organizada, servida por energia elétrica, com Escola e Posto de Saúde. Ali residem, atualmente, cerca de 310 famílias, correspondendo a uma população total, segundo informação do Agente de Saúde local, de 310 famílias, com 2.170 pessoas.

Todas as casas visitadas em Barra do Sotero pelos pesquisadores, possuem água encanada e tratada fornecida pelo SISAR – Sistema Integração de Saneamento Rural. No que diz respeito ao

esgotamento sanitário, segundo o que foi apurado, trata-se de um serviço precário, mas que atende a 100% das residências. Existe serviço de coleta de lixo feito pela Prefeitura de Croatá, e o seu destino é o lixão da cidade.

A construção das moradias é de tijolo, não tendo sido encontrado, na área amostrada, nenhum outro tipo de construção.

Para melhor compreender o sentimento de ligação da população residente com o seu domicílio atual, a pesquisa levantou que a grande maioria, cerca de 68%, residem na área há mais de 10 anos e somente 4% têm domicílio, em Barra do Sotero, há menos de 1 ano.

No que se refere aos serviços de comunicação, a totalidade da população tem acesso a serviços de televisão, de rádio e telefone.

No que diz respeito ao Associativismo, 40% dos entrevistados informaram ser associados ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais, enquanto 60% não têm nenhum vínculo associativista.

Mesmo com uma pluviometria mais elevada do que aquela do restante do estado, os moradores entrevistados apenas plantam na época das chuvas e a sua produção é praticamente de subsistência, dependendo a renda familiar dos programas sociais do Governo, como o Bolsa Família.

Poucos são os que conseguem implantar em suas terras pequenos sistemas de irrigação.

Em outro local onde foi aplicada a pesquisa, a Comunidade de Melancias, residem cerca de 60 famílias, com aproximadamente 360 pessoas.

Todas as casas pesquisadas têm abastecimento de água tratada operado pelo SISAR, mas não possuem sistema de esgotamento sanitário, cujas águas servidas correm a céu aberto.

50% dos domicílios possuem fossas e a outra metade libera os dejetos ao relento.

A coleta de lixo inexistente. Os moradores queimam ou enterram o seu lixo.

A construção das moradias é, em sua totalidade, feita de tijolos.

A grande maioria das famílias (70%) reside na área há mais de 10 anos. No que se refere aos serviços de comunicação, a totalidade da população tem acesso aos serviços de rádio e televisão, não tendo a comunidade serviços telefônicos.

No que se refere ao associativismo metade dos moradores informaram pertencer ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais, sendo que a outra metade não tem nenhum vínculo associativo.

Em Melancias não existe Posto de Saúde e o médico que faz atendimento a população durante dois dias por semana, o faz na residência da Agente de Saúde da Comunidade.

As crianças cursam o ensino fundamental em uma escola existente na Comunidade.

Na comunidade de Volta do Rio a pesquisa amostral aplicou 5 questionários, em cerca de 10% dos domicílios da área. Nesta comunidade residem 57 famílias.

As residências têm água encanada distribuída pelo SISAR. Não existe esgotamento sanitário e somente 2 residências pesquisadas (40%) possuem fossas.

Não existe coleta de lixo, o qual é lançado ao relento.

Todos os domicílios são servidos por energia elétrica e a sua construção é de tijolos. Todos têm acesso aos serviços de rádio e televisão, mas não têm telefonia fixa.

Quatro das famílias pesquisadas (80%) residem no local há mais de 10 anos. Não existe Posto de Saúde e o atendimento médico semanal é feito na residência da Agente de Saúde local. Existe uma única escola, que atende ao Ensino Fundamental.

A totalidade dos entrevistados é ligada ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais.

Na localidade de Irapuá, que é a mais próxima da sede do município de Croatá, residem aproximadamente 90 famílias. Todas as casas têm água encanada e são servidas por energia elétrica.

A quase totalidade das casas pesquisadas possuem fossas (90%).O lixo é coletado pela rede pública.

A totalidade das casas é construída de alvenaria de tijolos e cerca de 60% residem no local há mais de 10 anos, sendo que 20% ali residem há menos de 1 ano.

Com relação aos serviços de comunicação a totalidade dos entrevistados tem acesso a televisão, ao rádio e aos serviços de telefonia.

Do ponto de vista de associativismo, 60% informaram que estão ligados ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais, enquanto 40% não têm nenhuma filiação associativista.

A Comunidade possui um Posto de Saúde e uma escola de Ensino Fundamental.

A população vive de uma agricultura de subsistência, tendo também, como renda, os programas sociais do Governo.

No seio das comunidades pesquisadas procurou-se respostas acerca das expectativas dos seus moradores sobre a construção das barragens em estudo.

Uma das respostas obtidas sintetiza o sentimento da grande maioria da população, de descrença com a obra.

“ Eu era menino e meu pai já falava na construção desse açude. Já vi engenheiros virem aqui três vezes ; uma na década de 50, outra em 94 e agora vocês já voltaram aqui de novo”.

Observa-se uma grande desconfiança dos moradores na construção do empreendimento, além do medo do que poderia acontecer com eles se tiverem que deixar o local onde moram. Mais da metade dos entrevistados (60%) informaram que , sendo necessária a sua saída da área, por conta da construção das barragens, gostariam que fosse criado um novo distrito e que eles pudessem praticar uma agricultura irrigada para poder plantar o ano todo.

## **2.6. UMA VISÃO PROSPECTIVA DAS POSSIBILIDADES DE GERAÇÃO DE EMPREGO E RENDA E OUTROS BENEFÍCIOS SOCIAIS E ECONÔMICOS INDUZIDO PELA PRESENÇA DA ÁGUA A SER ARMAZENADA NAS BARRAGENS**

### ***2.6.1. Na área de influência direta, os municípios da Ibiapaba***

A presença de água estocada em regiões de irregular pluviometria, fortemente marcada pelo volume precipitado e pela sua má distribuição anual e interanual, tem um papel fortemente indutor na geração de emprego e renda na área de sua abrangência de benefícios econômicos e sociais.

Na etapa atual dos projetos estão sendo estudadas várias alternativas de localização dos futuros eixos a serem barrados (ver Relatórios específicos), sendo 5 alternativas para a Barragem Inhuçu e 3 para a Barragem Lontras.

Na escolha da alternativa definitiva, além de serem levados, prioritariamente, em conta os aspectos geológicos e geotécnicos para construção de um barramento, serão também considerados os impactos provocados aos meios físico, biótico, abiótico e, principalmente, ao meio antrópico de cada localização.

Ressalte-se, entretanto, que face a algumas características do meio físico da Chapada da Ibiapaba, como por exemplo a homogeneidade dos seus solos, qualquer visão prospectiva que se faça para fins de geração de emprego e renda, será muito semelhante em todas as alternativas de localização das barragens em estudo.

É evidente que, ao ser escolhida em definitivo, a localização das barragens, será elaborado um Plano de Geração de Emprego e Renda para o atendimento das famílias que serão retiradas da área que será inundada.

Dessa forma, e a título de prospecção preliminar, indica-se, a seguir, algumas oportunidades que surgirão face a presença da água armazenada nas barragens.

a) Piscicultura Intensiva Com Criatório De Peixes Em Tanques-Rede.

Este tipo de atividade vem sendo desenvolvida com sucesso em vários açudes públicos do Ceará.

Realizada mediante aprovação de outorga do uso da água e com licença ambiental expedida pela Instituição competente, tem se demonstrado como uma excelente oportunidade de geração de renda familiar, atingido valores monetários bastante elevados. Esta atividade pode ser desenvolvida com sucesso através de Associações Comunitárias legalmente instituídas e com apoio financeiro de instituições de crédito.

b) Projetos de Irrigação Familiar

Nas áreas a jusante dos barramentos, ao longo do curso d'água que será barrado, encontram-se solos aluviais com possibilidades de serem irrigados a partir de liberação de água nos reservatórios.

Numa estimativa preliminar, o que será comprovado posteriormente com estudo semi-detalhado desses solos, é provável se dispor de uma área bruta total de solos irrigáveis em torno de 1500 hectares, que poderão ser aproveitados com o cultivo de plantações familiares de produtos hortigranjeiros, prática muito difundida na Ibiapaba e que, em determinados períodos do ano, sofre com a escassez de água, escassez essa que poderá ser suprida pela vazão regularizada pelas barragens que, em seu conjunto, atinge 4m<sup>3</sup>/, bastante superior a vazão necessária para irrigar os 1500 hectares antes referidos, que se situará em torno de 1m<sup>3</sup>/.

Essa exploração, de caráter familiar e associativista, poderá ser desenvolvida por grupos de famílias retiradas da área que será inundada com a construção das barragens.

### c) Produção de Rosas

Na Serra da Ibiapaba vem crescendo muito, como atividade econômica, a produção de rosas, possibilitando a criação de muitos empregos.

Em determinados momentos de anos de pluviometria mais deficiente tem ocorrido escassez de água, com prejuízos para uma exploração altamente tecnificada e de altos custos.

A presença de água nos reservatórios previstos, será uma segurança para este tipo de cultivo.

### d) Projetos de Apicultura

No entorno dos reservatórios são definidas, por determinação legal dos órgãos ambientais, áreas de preservação permanente (APPs) que estão contidas entre a cota de cheia máxima dos reservatórios (geralmente cheias de recorrência milenar) e uma distância de 100 metros dessa cota.

Esta área tem por objetivo proteger as águas do lago formado, contra a erosão das suas margens, o carreamento de dejetos e de fertilizantes de cultivos feitos na sua proximidade, induzindo o processo de eutrofização das águas, com sérios prejuízos a sua qualidade.

A área de preservação permanente dos açudes, não deverá ser cultivada e sim protegida através do seu reflorestamento com essências florestais, principalmente aquelas de maior período de floração.

Essa cobertura vegetal possibilitará a produção de mel de abelhas, atividade que poderá ser desenvolvida por associações comunitárias constituídas de famílias que forem retiradas da área que será inundada pelas águas.

Ocupando pequenos espaços na periferia da área reflorestada, as colméias permitem a geração de renda das famílias envolvidas, ao tempo em que essas pessoas se encarregarão, através das Associações criadas, da proteção dessas áreas contra a sua invasão ou depredação.

Pode-se criar um lema para o Programa: “ O meio ambiente agradece esse trabalho feliz dessas famílias, proporcionado-lhes emprego e renda, a partir de terras públicas protegidas”.

Projeto piloto dessa natureza está sendo implantado em áreas de preservação de barragens já construídas.

#### e) Projetos de Artesanato

Dirigidos principalmente para o público feminino, objetivando complementar a renda familiar, poderão ser previstos cursos de treinamento em artesanato, com ênfase para a confecção de produtos já inseridos na cultura da população da área, e tendo como insumo material, particularmente vegetal, existente na região.

Associações de produtores poderão ser criadas e o treinamento compreenderá duas etapas básicas: a confecção dos produtos e o empreendedorismo, visando uma melhoria do processo produtivo e o atingimento dos mercados.

### **2.6.2. Na área do caminhamento das águas, nos municípios do Sertão Cearense**

As águas armazenadas no platô de Ibiapaba, nas barragens Lontras e Inhuçu, atingirão os Sertões do Ceará, beneficiando diversos municípios carentes de água, para induzir o seu crescimento econômico e social.

Entre os principais benefícios destacam-se:

#### a) Abastecimento Humano

A água transposta permitirá a garantia do abastecimento humano dos municípios de Ipueiras, Nova Russas, Ipaporanga e Ararendá, situados no sapé da serra da Ibiapaba, e que, atualmente, sofreu com a escassez de água. Esses municípios serão atingidos pela água que desce a serra, através de um túnel, sem necessidade de bombeamento.

#### b) Irrigação

Ao longo do Rio Acaraú, as águas excedentes fluirão, após o abastecimento humano antes referido, no leito do Acaraú, permitindo o seu aproveitamento, com irrigação do tipo familiar, ao longo deste rio, bem como atendendo o abastecimento da sua população difusa.

#### c) Geração de Energia Elétrica

Na transferência da água da Serra para o Sertão, cria-se a oportunidade de geração de energia elétrica através de uma PCH instalada no município de Ipueiras, com capacidade de geração de 6MW.

---

### 3. RECONHECIMENTO

### 3. RECONHECIMENTO

#### 3.1. FOTOINTERPRETAÇÃO

Para esta fase dos estudos somente estão disponíveis fotografias aéreas na escala 1:70.000, utilizadas na elaboração das cartas da Diretoria do Serviço Geográfico - Brasil. Referidas fotografias foram tomadas no período 1968-1970 do SACS e AST/10 USAF. Em 1971 foi realizado Apoio Básico e Apoio Suplementar para restituição fotogramétrica para gerar as conhecidas cartas da SUDENE com curvas de nível espaçadas verticalmente a cada 40 m.

As fotos disponíveis, somadas às cartas temáticas atuais, não têm resolução suficientes para a fotointerpretação mais acurada, que atenda as necessidades do estudo principalmente na interpretação da geologia local da área de influência do túnel.

Neste nível inicial de investigação somou-se a utilização de imagens de satélites disponibilizadas pelo programa computacional Google Earth. Com estas imagens e a utilização de modelos computacionais de simulação topográfica pode-se projetar-se preliminarmente temas importantes como a hidrografia, relevo, topografia com curvas de nível das bacias hidráulicas das diversas opções de barramentos, boqueirões barráveis mais favoráveis, perfis longitudinais dentre outros temas.

O Google Earth é um programa de computador desenvolvido e distribuído pela empresa americana Google cuja função é apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas (fotografadas de aeronaves) e GIS 3D. Desta forma, o programa pode ser usado simplesmente como um gerador de mapas bidimensionais e imagens de satélite ou como um simulador das diversas paisagens presentes no Planeta Terra. Com isso, é possível identificar lugares, construções, cidades, paisagens, entre outros elementos. O programa é similar, embora mais complexo, ao serviço também oferecido pelo Google conhecido como Google Maps.

Anteriormente conhecido como Earth Viewer, o Google Earth foi desenvolvido pela Keyhole, Inc, uma companhia adquirida pelo Google em 2004. O produto, renomeado de Google Earth em 2005, está disponível para uso em computadores pessoais rodando Microsoft Windows 2000, XP, Vista, 7, Mac OS X 10.3.9 e superiores, e Linux (lançado em 12 de Junho de 2006) e FreeBSD.

O programa está disponível em duas diferentes licenças: Google Earth, a versão grátis mas com funções limitadas; e o Google Earth Pro (\$400 por ano), que se destina a uso comercial. O Google

Earth Plus (\$20 por ano), que dispunha de recursos adicionais foi cancelado em 2008 por motivos comerciais.

O Google Earth faz a cartografia do planeta, agregando imagens obtidas de várias fontes, incluindo imagens de satélite, fotografia aérea, e sistemas de informação geográfica sobre um globo em 3D.

O programa, que é constituído por imagens da NASA e outros fornecedores, feitas por satélites artificiais. A cada dia o software vem se atualizando .

Conforme relatado em 2.1, para a complementação dos estudos de alternativas o Consórcio Engesoft/IBI deverá utilizar imagens recentes do satélite Geo eys, de alta resolução, tomadas nos meses de abril e maio de 2011. Estas imagens serão fotointerpretadas e permitirão a elaboração de cartas na escala 1:25.000 com curvas de nível a cada 5 m (espaçamento vertical). Permitirão também uma interpretação mais precisa da geologia e pedologia locais.

As imagens serão novas, resultantes de programação do satélite. O imageamento iniciou em 2 de março de 2011 e até a presente data o satélite realizou cinco tentativas de coletas, das quais em apenas duas foram coletadas imagens com menos de 15% de cobertura de nuvens (máximo aceitável para este projeto). A **Figura 3.1** mostra os quicklooks das imagens coletadas com sucesso.

### Quadro 3.1: Metadata das cenas

#	Ordering Id	Cloud Cover	Collection Date	Imagery Source	Elevation Angle
1	2011032413014621603031605145 (1036584)	6%	2011-03-24	GE-1 / PAN/MSI	68.66075
2	2011032413025121603031605146 (1036585)	6%	2011-03-24	GE-1 / PAN/MSI	65.72982
3	2011031313012521603031608711 (1033256)	3%	2011-03-13	GE-1 / PAN/MSI	73.17158
4	2011031313022141603031608712 (1033260)	2%	2011-03-13	GE-1 / PAN/MSI	62.524834

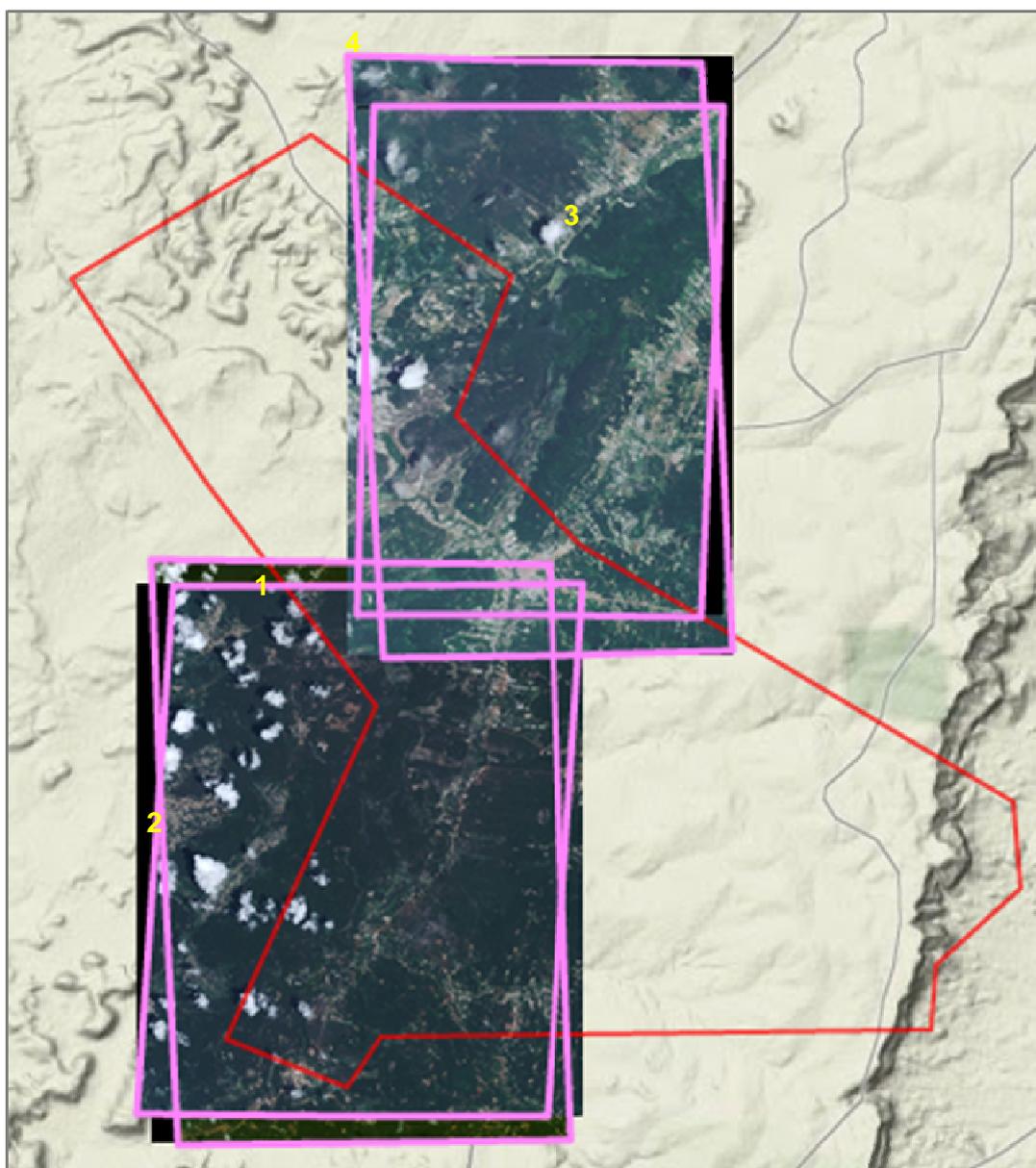


Figura 3.1: Quicklook das cenas coletas com sucesso até o momento.

### 3.1.1. Características do Imageamento

- Satélite: GeoEye-1
- Produto: GeoStereo
- Características do produto: Imagens estereoscópicas de alta resolução espacial (50 cm) da mesma área geográfica, coletadas de duas posições diferentes do satélite ao longo de uma mesma passagem orbital (in-track), e com superposição de pelo menos 80%. Uma das imagens de cada estereopar é coletada com ângulo de elevação superior a 72°.
- Cobertura de nuvens: As imagens serão entregues com até 15% de cobertura de nuvens dentro da área especificada para programação.
- Bits/ Pixel: 11 bits produto bruto; 8 bits produto processado (final)
- Resolução Espacial: 0,50m no Pancromático (P&B); 2,0m no Multispectral (colorido).
- Bandas espectrais:
  - Pan: 450 - 900 nm
  - Azul: 450 - 520nm
  - Verde: 520 - 600nm
  - Vermelho: 625-695nm
  - Infra Vermelho: 760 - 900nm
- Precisão Métrica do produto GeoStereo:
  - 4m CE90\* Horizontal
  - 6m LE90\*\* Vertical
  - \* Erro Circular ao nível de confiança de 90%
  - \*\* Erro Linear ao nível de confiança de 90%

### 3.1.2. Serviços a Serem Realizados pela Threetek

Os serviços de fornecimento das imagens serão realizados pela Threetek. As imagens serão entregues ao cliente em dois modos:

- Imagens Brutas: Conforme fornecidas pela operadora do satélite, empresa norte-americana GeoEye. As imagens brutas são fornecidas em formato digital, arquivo GeoTiff, projeção UTM e datum WGS-84, 11 bits, não mosaicadas e não ortorretificadas.

As imagens GeoEye-1 são entregues juntamente com arquivo de metadata, licença de uso, shapefile com a localização geográficas das imagens e suas componentes e, arquivo JPG com o Quicklook da imagem.

O arquivo de metadata inclui os parâmetros do pedido, assim como a origem da imagem e descrição do produto. Os parâmetros do pedido incluem a Área de Interesse (AOI), bandas espectrais e sistema de coordenadas. A descrição da origem da imagem inclui a data de coleta, ângulo de elevação do sensor no momento da coleta e informações de geometria. A descrição do produto inclui informações de georreferenciamento, bandas espectrais e área de cobertura.

Os arquivos Shapefile entregues junto com as imagens incluem o limite da AOI, componente da cena, footprint das imagens com geometria de coleta.

- Imagens processadas: As imagens serão processadas pela Threetek através de serviços especializados realizados no software PCI Geomatica. Os serviços serão de correção geométrica, extração de DEM, geração de curvas de nível e geração de mapa com os temas recursos hídricos e manchas urbanas. Todos os produtos gerados serão compatíveis com a escala 1:25.000 (PEC/A).

#### *Equilíbrio de cores e correção geométrica das imagens*

Serão aplicados filtros para equalização e balanço de cores nas imagens. As imagens são fusionadas para 50 cm e fornecidas em bandas separadas (R, G, B, NIR). A Threetek fará a combinação das bandas 123 (B,G,R) nos canais RGB para geração de imagens coloridas (cor natural). O mosaico de imagens será realizado caso o recobrimento pelo satélite tenha sido feito em mais de uma faixa (frame).

A correção geométrica será realizada através de Ortoretificação, com uso do MDE extraído das imagens GeoEye-1 coletadas em modo estereoscópico e das informações de geometria da imagem (RPC).

### *Extração de DEM e geração de curvas de nível*

A extração do DEM será feita no PCI Geomatica através da correlação do par de imagens GeoEye-1 coletadas sobre a AOI. A correlação de imagens é feita com a sobreposição de pixels de mesmo valor (ND e coordenadas), utilizando as informações de geometria das imagens para o sensor (RPC). A extração do DEM e das curvas de nível é feita de forma automática, através de processamento em lote no PCI Geomatica. O produto final será utilizado na ortorretificação das imagens.

Os produtos finais, DEM e curvas de nível (equidistantes em 5 m), serão compatíveis com a escala 1:25.000 (PEC/A).

### *Mapa de recursos hídricos e manchas urbanas*

O mapa de recursos hídricos e manchas urbanas na escala 1:25.000 será produzido através da interpretação visual da imagem GeoEye-1. A Threetek conta com uma equipe especializada e experiente neste tipo de mapeamento.

### *Relatório do projeto*

Serão gerados relatórios sobre todas as etapas de processamento das imagens, geração de DEM e Curvas de Nível, e mapeamento recursos hídricos e manchas urbanas, incluindo metodologia e descrição dos produtos.

### *ART*

Após a conclusão dos trabalhos e aceite do produto pelo Contratante, a Threetek emitirá a ART (Atestado de Responsabilidade Técnica) a ser emitido pelo CREA-RJ.

No Tomo 1A - Desenhos são mostradas imagens obtidas do Google Earth com as alternativas de boqueirões barráveis, região onde está previsto o circuito túnel/PCH, bem como o vale dos rios Ihuçu/Piau/Macambira onde estão previstas as futuras obras de transposição da bacia do Parnaíba para a bacia hidrográfica do Acaraú.

## **3.2. ESCOLHA DE LOCAIS ALTERNATIVOS PARA O SISTEMA**

Selecionou-se cinco alternativas de localização da barragem Inhuçu, ao longo do trecho do rio homônimo compreendido entre a região imediatamente a montante da zona urbana de Croatá e imediatamente a montante da zona urbana do distrito de Barra do Sotero. A alternativa

denominada Inhuçu refere-se ao eixo selecionado nos Estudos de Viabilidade, desenvolvidos pela Montgomery Watson/Engesoft no ano de 2000, as demais alternativas foram identificadas na presente fase.

No quadro seguinte são apontados os elementos característicos da localização das alternativas elencadas para a barragem.

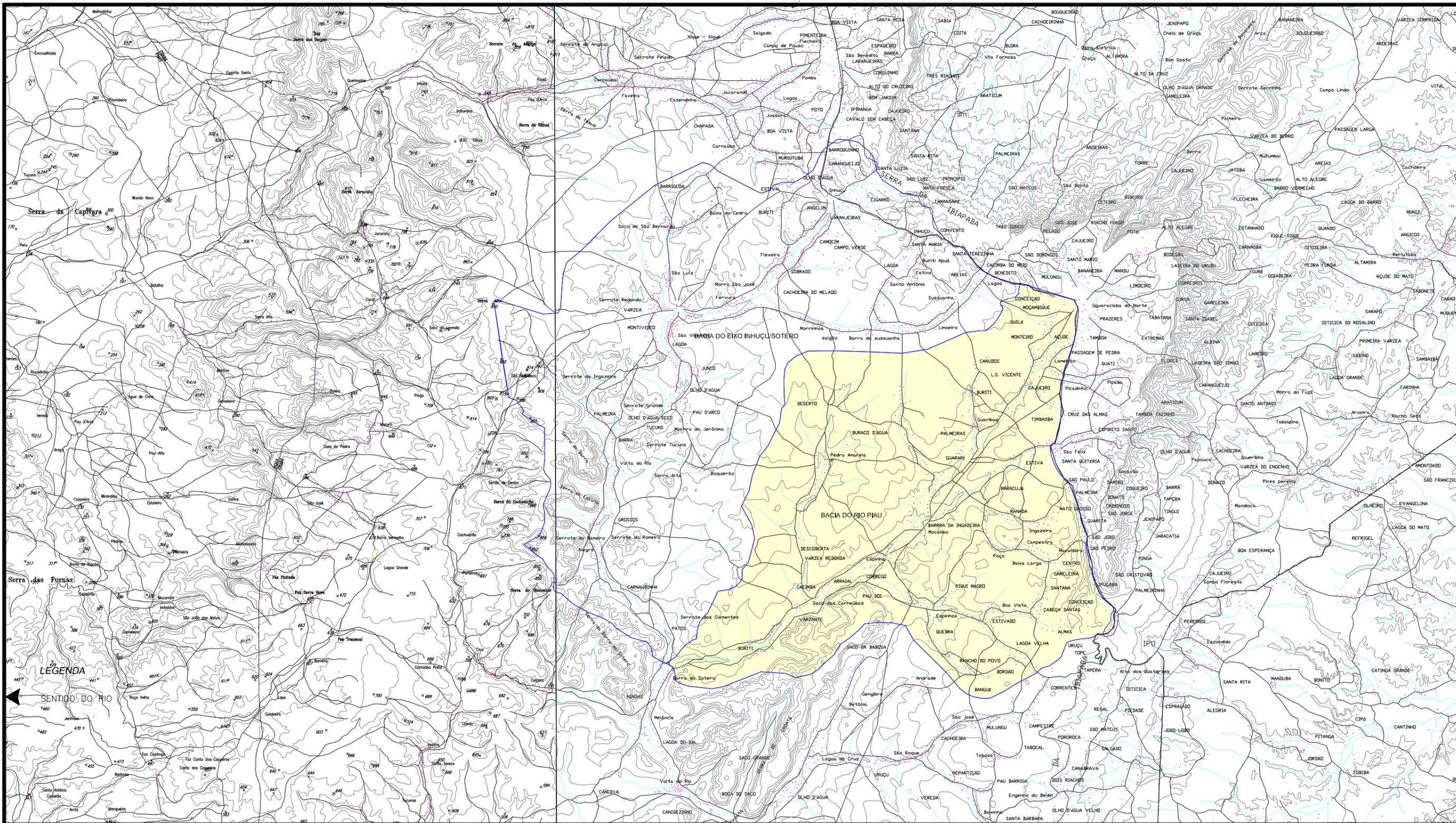
**Quadro 3.2: Características locacionais dos eixos selecionados para a Barragem Inhuçu**

Nome da Alternativa	Referencia da localização	Coordenadas UTM			
		Ombreira Esquerda		Ombreira Direita	
		N	E	N	E
Inhuçu 3	0,8 km a montante de Croatá	9.512.778	287.997	9.511.547	287.106
Inhuçu 2	1,9 km a montante de Croatá	9.513.146	286.794	9.511.974	286.578
Inhuçu 1	2,8 km a montante de Croatá	9.513.146	286.195	9.512.766	285.526
Inhuçu	5,9 km a montante de Croatá	9.515.539	284.389	9.515.085	283.801
Inhuçu/Sotero	11,7 km a montante de Croatá, junto a Barra Sotero	9.520.406	284.682	9.521.094	283.331

Imediatamente a montante de Barra do Sotero, o rio Inhuçu recebe um afluente importante denominado Rio Piau (extensão de 33 km), que apresenta uma significativa vazão contribuinte ao futuro reservatório. Para não prescindir desta contribuição hídrica desconsiderou-se a busca de eixos alternativas no rio Inhuçu, a montante da confluência do rio Piau. Na **Figura 3.2** observa-se a representatividade da área da bacia do rio Piau (306 km<sup>2</sup>) em relação a área total (668 km<sup>2</sup>), considerando um barramento na confluência dos rios Inhuçu/Piau.

Para a localização da barragem Lontras foram levantadas mais duas alternativas, distintas da apresentada originalmente no estudo de Viabilidade, realizado no ano de 2000. Os novos locais alternativos foram selecionados a jusante do eixo original devida a presença da cidade de Croatá, situada a montante, que limita fisicamente o tamanho do reservatório, ou seja, cada deslocamento do eixo para montante significa uma perda do volume de acumulação do lago.

Outros fatores restritivos para a escolha do eixo são: a) a calha do rio, a jusante do eixo original, apresentar-se encaixada em um perfil semelhante a um “canion”, com forte declividade longitudinal do leito (média de 8% em 10 km). Isto equivale a barragens com alturas máximas acrescidas de 80 metros a cada quilometro de deslocamento para jusante; b) a presença do distrito de São José das Lontras, na margem esquerda, situado a 3,7 km a jusante do eixo original e com uma população recenseada em 1.851 habitantes (ano 2000).



**LEGENDA**

-  Limite da Bacia
-  Curvas de Nível
-  Pontos Cotados
-  Hidrografia

Ministério da Integração Nacional - MI Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL  
 Projeto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos PROGERIRH II  
**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

---

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

---

**PLANTA CARTOGRÁFICA**  
**BACIA DO RIO PIAU**

CONSÓRCIO:	 	ESCALA: 1:200000	DESENHISTA:
		DATA: ABRIL/2011	DESENHO: 001
		ARQUIVO: CARTAS-1000000.dwg	PRANCHA: 01/01
RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:			

No quadro seguinte são apontados os elementos característicos da localização das alternativas elencadas para a barragem.

**Quadro 3.3: Características da localização dos eixos selecionados para a Barragem Lontras**

Nome da Alternativa	Referencia da localização	Coordenadas UTM			
		Ombreira Esquerda		Ombreira Direita	
		N	E	N	E
Lontras	3,7 km a montante de S.J. das Lontras	9.498.406	283.057	9.499.605	282.619
Lontras 1	2,5 km a montante de S.J. das Lontras	9.497.800	282.348	9.499.076	281.370
Lontras 2	1,2 km a montante de S.J. das Lontras	9.496.575	282.309	9.497.331	280.604

Nas Figuras 3.3 e 3.4 são apresentadas as alternativas para o eixo Inhuçu e Lontras, respectivamente.

### 3.3. VISITA AOS LOCAIS DOS EIXOS BARRÁVEIS, CANAL/TÚNEL E HIDRELÉTRICA

Foram realizadas visitas de equipes multidisciplinares a área de interesse do projeto, visando o reconhecimento dos condicionantes principais, a formulação de um conceito crítico dos documentos técnicos existentes, a seleção de alternativas de localização e de tipos de obras adequadas e a identificação de particularidades da área que poderão contribuir para o projeto.

Nesta etapa foram realizadas as seguintes viagens à região da Serra da Ibiapaba afeita ao projeto:

- Viagem de escolha de alternativa de eixos e orientação dos levantamentos topográficos preliminares. Realizada pelo Eng<sup>o</sup> Walmir Jardim e equipe de topografia;
- Viagem de observação das características da hidrologia da região, reconhecimento da estação de registro de vazão e avaliação das condições da cobertura vegetal. Realizada pelos Eng<sup>o</sup> Dorian Lima e Paulo Coelho;
- Viagem de reconhecimento das características geológicas e geotécnicas dos eixos selecionados. Realizada pelo Geólogo Guido Guidicini e o Eng<sup>o</sup> Geotécnico Walmir Jardim;
- Viagem de escolha de alternativas e reconhecimento das características geológicas/geotécnicas do local do canal, Túnel, Penstok e PCH. Realizada pelo Eng. Pereira da Silva, Eng. Geotécnico Raul Pistone e Eng. Dorian Lima;
- Viagem para conhecimento dos impactos socioeconômicos e ambientais na área de influencia dos reservatórios planejados. Realizada pelo Eng. Agrônomo Francisco Pardaillan e o Técnico Ricardo Formoso.

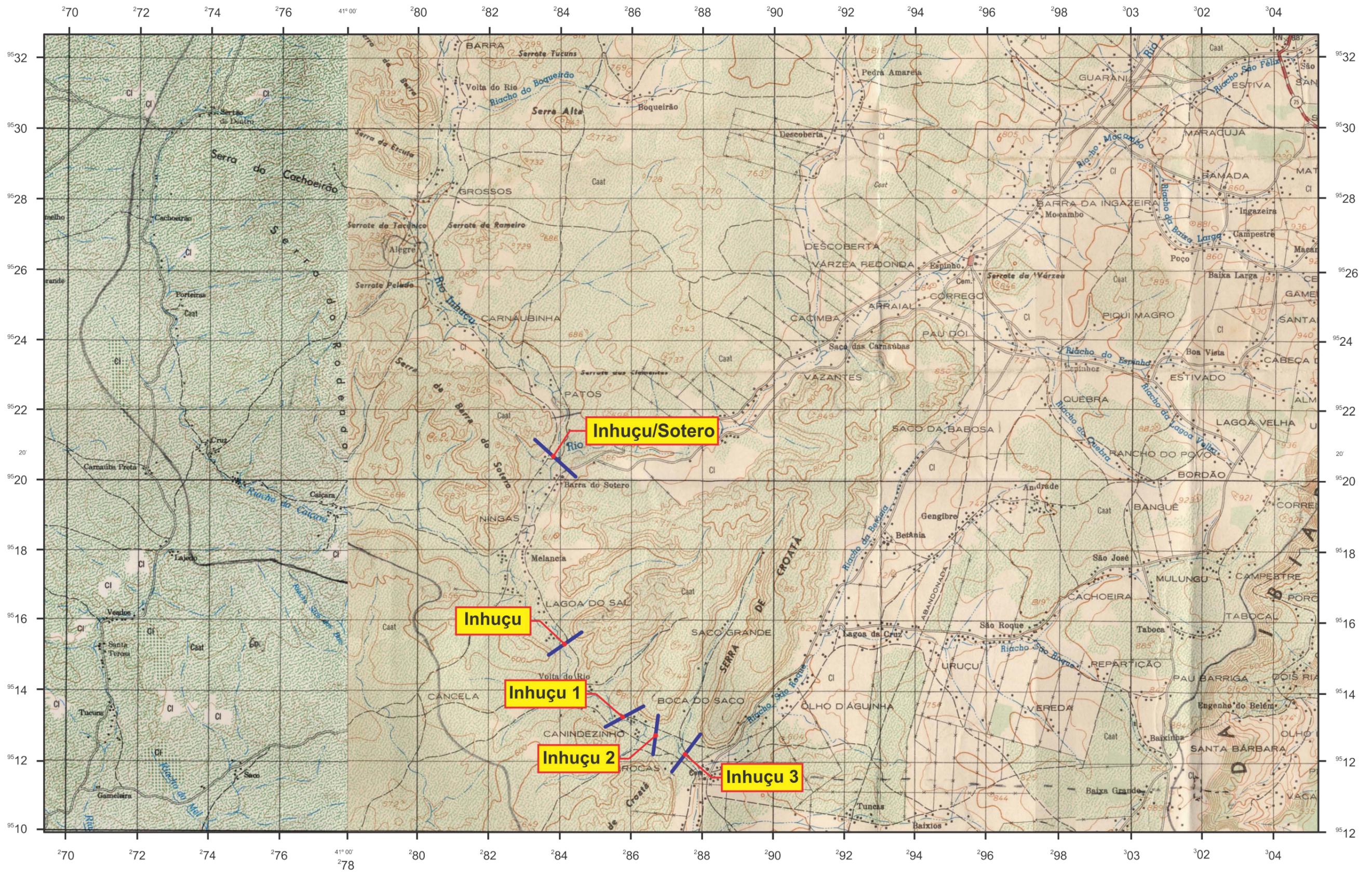


Figura 3.3 - Planta de Localização dos Eixos Alternativos para a Barragem Inhuçu

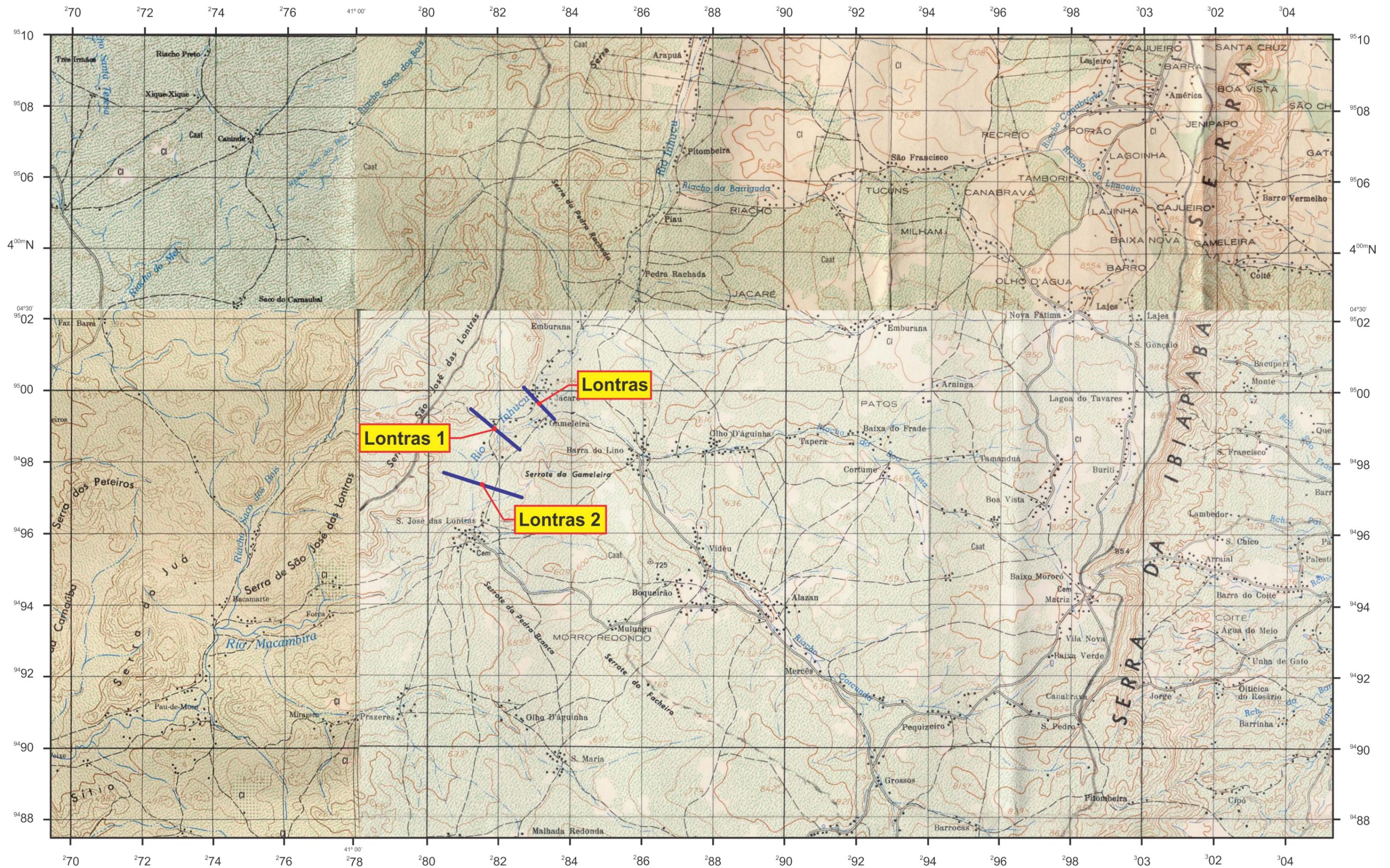


Figura 3.4 - Planta de Localização dos Eixos Alternativos para a Barragem Lontras

As avaliações, análises e relatos fruto destas viagens são apresentadas ao longo do presente relatório, nos itens relativos a cada disciplina.

### **3.4. LEVANTAMENTOS DAS CONDIÇÕES PRELIMINARES DE TOPOGRAFIA, DE GEOLOGIA E DE GEOTECNIA**

#### **3.4.1. Topografia**

Com base nas cartas topográficas na escala 1:100.000 e em imagens do satélite Google, foram pré selecionadas alternativas de localização dos eixos das barragens Lontras e Inhuçu. Em viagem de campo foram visitados os locais escolhidos e percorrido o trecho do rio Inhuçu compreendido entre 7 km a jusante de São José das Lontras e a cidade de Carnaubal, além de entrevistas aos moradores locais a respeito de possíveis boqueirões.

Após estas atividades foram selecionados dois locais, adicionais ao eixo do Estudo de Viabilidade, como alternativas para a barragem Lontras e quatro como alternativas para a barragem Inhuçu.

Imediatamente iniciou-se os trabalhos de levantamento planialtimétrico dos eixos, com pontos a cada 20 metros e em locais relevantes, como calha dos rios ou inflexões acentuadas do relevo.

Uma região de pontos baixos no divisor de águas da bacia, situada a Oeste do rio Inhuçu, com possibilidade de comportar um sistema de sangria das alternativas Lontras 3, Lontras 2 e Lontras 1, foi levantada planialtimetricamente numa área de 56 hectares.

Para tal utilizou-se uma estação total e um GPS geodésico de grande precisão, com exceção do eixo Inhuçu/Soteros que foi levantado com equipamentos convencionais (nível e teodolito).

No quadro seguinte é apresentada as extensões levantadas em cada eixo e no Tomo 2-Desenhos são apresentados os perfis e plantas de localização dos eixos levantados.

#### **Quadro 3.4: Extensões dos levantamentos topográficos**

<b>Eixo</b>	<b>Extensão levantada (m)</b>	<b>Cota Máxima alcançada</b>
Inhuçu 3	1.520	625,0
Inhuçu 2	1.080	628,0
Inhuçu 1	1.060	634,0
Inhuçu/Sotero	1.416	606,0
Lontras 1	1.600	540,0
Lontras 2	1.860	541,0

Em cada ombreira dos eixos foi implantado um marco de referencia com uma placa de identificação e amarração do alinhamento. Na **Foto 3.1** observa-se o marco da ombreira direita do eixo Inhuçu 1.



**Foto 3.1: Marco topográfico credenciado n0 006, no alto da ombreira direita da alternativa de eixo Inhuçu 1 (altit. 624 m) (Coord. UTM N 9.512.839 E 285.618).**

### 3.4.2. Geologia

#### 3.4.2.1. Geologia Relativa aos Barramentos Alternativos

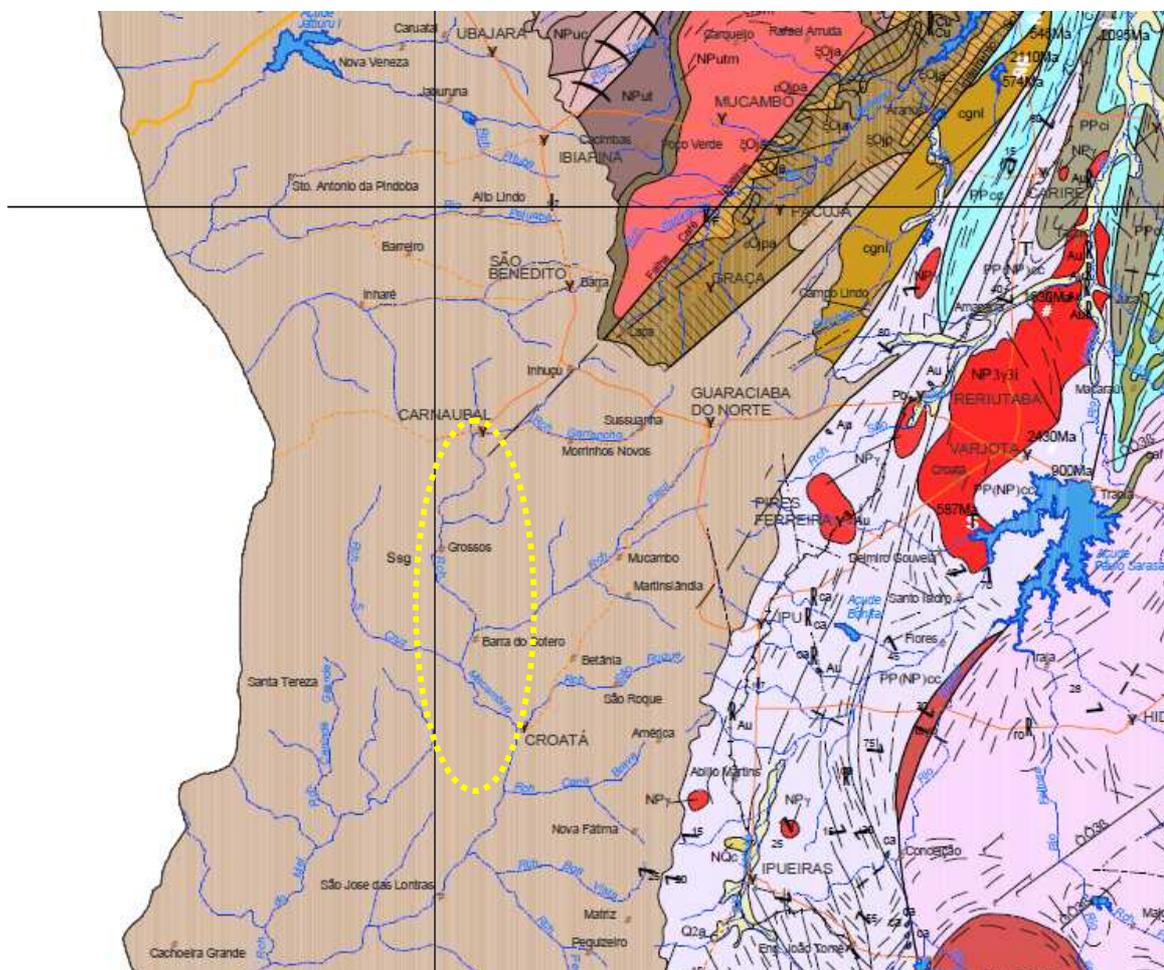
Neste item apresenta-se o relatório de visita aos sítios de barramento selecionados na serra de Ibiapaba, realizada pelo Geólogo Guido Guidicini, entre os dias 22 a 24 de março de 2011.

#### A. ASPECTOS GEOLÓGICOS E ESTRUTURAIS REGIONAIS

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

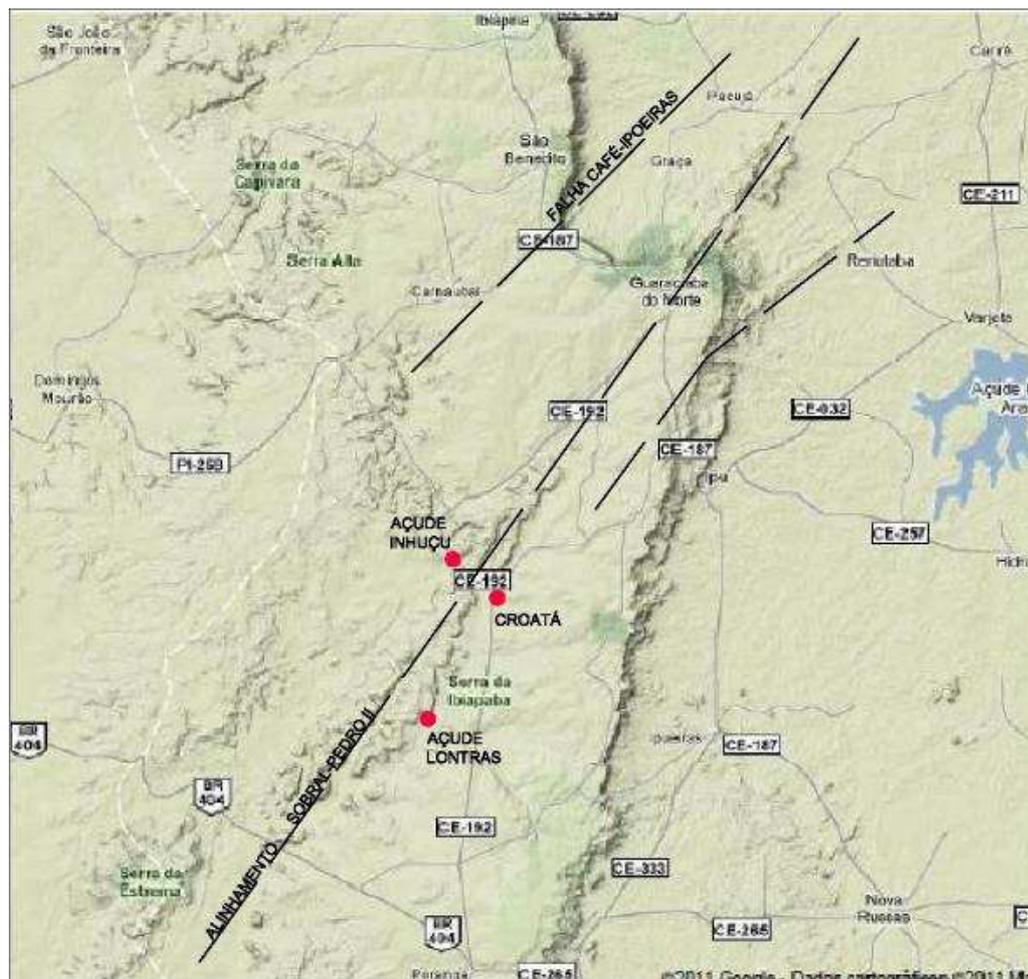
No Mesozóico, extensas falhas foram reativadas, dentre elas o Lineamento Sobral-Pedro II, que constitui uma das principais estruturas rúpteis, em escala regional e continental (**Figura 3.5**). Na região entre os municípios de Santana do Acaraú e Morrinhos e adjacente ao já referido lineamento, ocorre uma faixa com cerca de 30 km de extensão, orientada no sentido NE,

composta por arenitos e arenitos conglomeráticos, correlacionados à seção basal do Grupo Serra Grande, de idade siluro-devoniana, que constituem um marcador por excelência da deformação ocorrida.



**Figura 3.5: 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).**

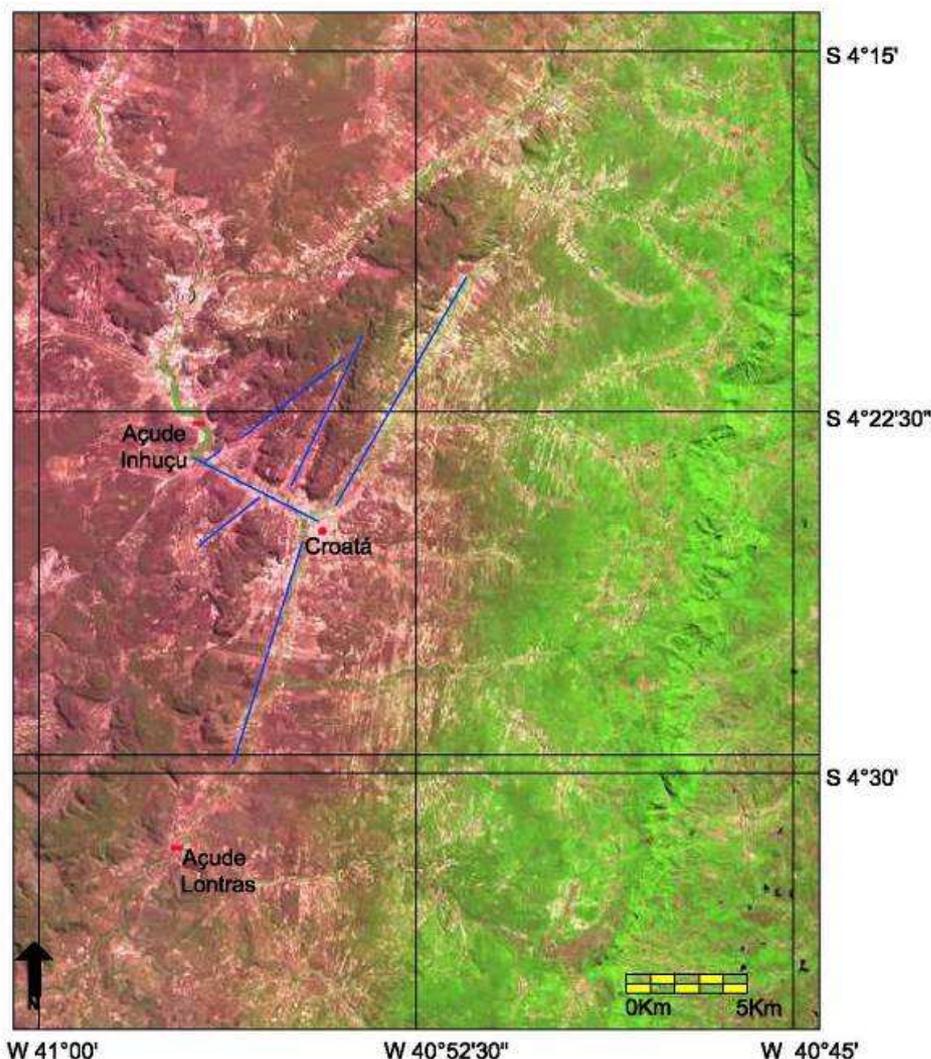
O espesso pacote de sedimentos da formação Serra Grande, no alto da chapada, foi submetido ao mesmo tectonismo que atingiu o embasamento cristalino, ao longo de uma faixa de território que se prolonga no sentido NE-SW e que possui uma largura de algumas dezenas de quilômetros. Esta faixa é delimitada pelo lineamento Sobral-Pedro II, que passa pela cidade de Guaraciaba do Norte e por outro lineamento importante, paralelo ao primeiro, denominado Falha Café-Ipueriras, que passa próximo à cidade de Inhuçu (**Figura 3.6**).



**Figura 3.6: 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 (**Figura 3.6**) 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 (**Figura 3.7**), configurando uma fossa tectônica (Ref. 4).



**Figura 3.7:** 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, além de basculamentos (Mapa Embrapa).

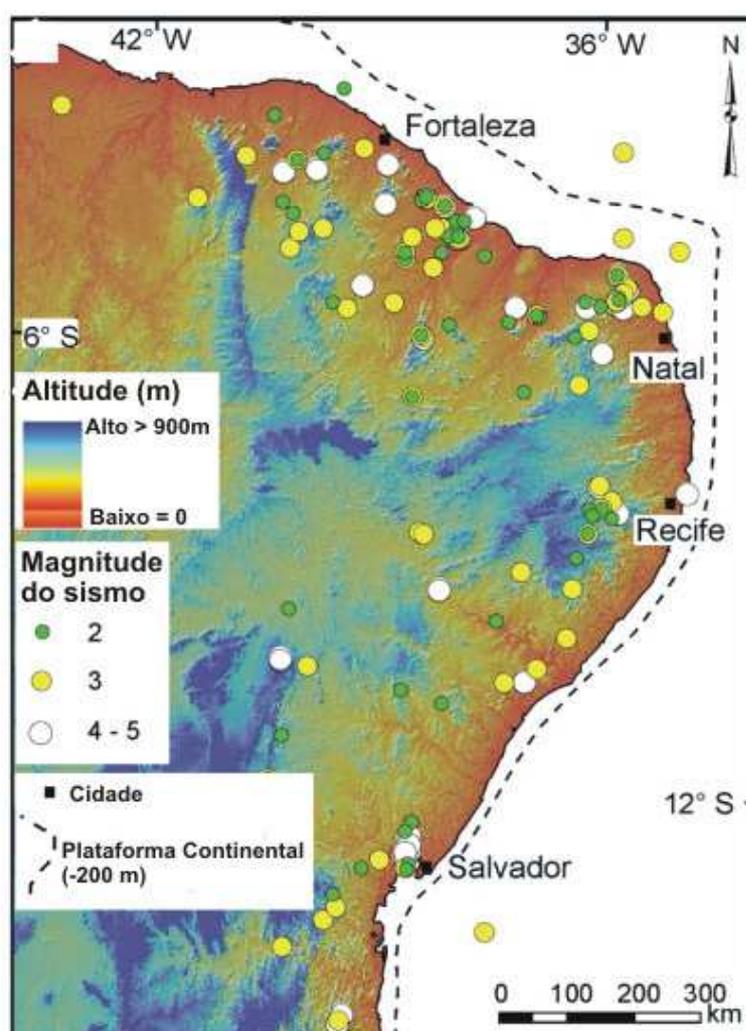
Deslocamentos relativos entre blocos, tanto verticais, quanto horizontais, além de basculamentos, podem ser observados no terreno, graças à presença de horizontes-guias, claramente visíveis nas elevações que delimitam os vales dos principais cursos d'água.

## B. 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 anterior.

A região é atravessada por uma mega sutura, 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 ocorreu no noroeste do Ceará (**Figura 3.8**). Os mesmos se encontram relacionados no **Quadro 3.5**.



**Figura 3.8:** Mapa da distribuição de eventos sísmicos no Nordeste do Brasil (Fonte: Oliveira, P.H.S. – 2010 – Ref.3).

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

(Fonte: Oliveira, P.H.S. – 2010 – Ref. 3)

### Quadro 3.5: Principais sismos de magnitude $\geq 3,0 m_b$ ocorridos no Nordeste do Ceará

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 (Ref. 3).

Mesmo assim, a sismicidade regional está longe de poder ser tida como desprezível, devendo ser levada em consideração, em função de sua magnitude histórica, no estudo e dimensionamento de grandes obras de infraestrutura.

## C. FORMAÇÃO SERRA GRANDE

### C.1 Aspectos estratigráficos

A formação Serra Grande integra a sequência de unidades sedimentares da bacia do Parnaíba (ou bacia do Maranhão-Piauí) e compreende um pacote de arenitos finos a grosseiros e conglomeráticos, com intercalações siltosas e argilosas, bem definidas, cuja presença pode ser observada nos afloramentos das escarpas da Serra da Ibiapaba, bem como nas sondagens feitas nos sítios de dois empreendimentos. Sua posição é basal, em relação à estratigrafia da bacia, apoiando-se diretamente sobre o substrato cristalino. Quando não perturbado por tectonismo, o acamamento mergulha alguns graus para oeste, isto é, para o interior da bacia sedimentar.

O contato dos arenitos com o embasamento cristalino exhibe a presença de conglomerados heterogêneos, silicificados ou caulíníficos, consolidados, constituídos por rochas do próprio embasamento.

O arenito é geralmente fino e se apresenta associado a estratos sub-horizontais de siltitos e folhelhos intercalados, sendo finamente estratificado, friável e frequentemente pouco consistente, de cor cinza claro amarelado e, às vezes, vermelho ferruginoso, ou cinza escuro, formando paredões verticais, frequentemente de grande altura.

Ao longo dos paredões, as variações de resistência e consistência das diversas camadas se refletem na forma de patamares escalonados, que também podem coincidir com juntas de alívio sub-horizontais, ao longo dos quais costumam se instalar os caminhos preferenciais de percolação. Tais fraturas e descontinuidades se apresentam frequentemente abertas, lisas, com oxidação das paredes e vestígios de circulação d'água.

## **C.2 Aspectos geotécnicos**

No contexto dos projetos de barramento, para acumulação dos significativos mananciais de água previstos, as rochas sedimentares da formação Serra Grande deverão apresentar diversos desafios, que derivam, basicamente, de sua granulometria e da variabilidade nos níveis de coerência exibidos pela sucessão de camadas e estratos diferenciados.

Algumas barragens já construídas em áreas de ocorrência da formação Serra Grande (Algodões I, Jaburu I) despertaram a atenção do meio técnico para alguns aspectos peculiares, quais:

- a) lentes e estratos de arenito incoerente, ou pouco coerente, intercalados a horizontes mais competentes, podem ser lixiviados, por arraste de partículas (piping), mesmo sob os gradientes moderados, dando margem ao surgimento de cavidades e dutos de dimensões e continuidade relevantes (Ref. 5 a 9);
- b) juntas de alívio podem aparecer, não apenas a pequena profundidade, no fundo dos vales, como também ao longo das encostas, paralelas à superfície do terreno, passando a exercer a função de coletores de água e caminhos preferenciais de percolação, após o enchimento do reservatório,
- c) massas de tálus costumam se acumular no sopé das encostas, formadas a partir de movimentos gravitacionais de blocos e detritos, normalmente imersos em matriz arenosa fina; constituem acúmulos de materiais com características geomecânicas próprias e peculiares,

d) a permeabilidade do pacote rochoso superficial, dentro da faixa de interesse aos empreendimentos (uma ou duas dezenas de metros), costuma ser elevada, ocorrendo tanto por descontinuidades, em meio coerente fissurado, quanto pela matriz arenosa, em meio inconsolidado,

e) o clássico tratamento das fundações, pela injeção de suspensões de cimento em meio aquoso, em uma ou mais linhas de furos, com espaçamento progressivamente decrescente, pode ser eficaz em meios fissurados, mas não costuma surtir o efeito desejado em meios granulares, onde geralmente resulta de eficiência baixa ou duvidosa,

f) para controle de percolação pela fundação das estruturas de barramento, o projeto deve lançar mão de todos os recursos disponíveis, voltados para a redução dos gradientes hidráulicos (aumento do caminho de percolação) e para o manejo adequado das águas que ressurgem a jusante das estruturas (transições e filtros),

g) embora, de um modo geral, os arenitos sejam adequados para o assentamento de estruturas de concreto, podem ocorrer variações bruscas e localizadas de coerência do material, capazes de acarretar sobre-escavações significativas, de difícil previsão e antecipação,

Outros aspectos relevantes, decorrentes não propriamente da natureza dos sedimentos mas de características regionais, são:

h) falhas geológicas são comuns no interior da bacia sedimentar do Parnaíba, em decorrência de eventos tectônicos pós-paleozóicos; os planos de falhamento, normalmente gravitacionais, são formados por caixas de material cataclasado (gouge), que passam a atuar como caminhos preferenciais de percolação, além de representar zonas de características geomecânicas pobres,

i) em particular, na serra da Ibiapaba, na área prevista para os empreendimentos, uma reativação de lineamentos tectônicos, orientados segundo NE-SW, resultou na formação de uma extensa fossa, marcada pelo abatimento e basculamento de blocos, com possíveis reflexos nos projetos.

Talvez, o aspecto mais importante reside no fato que a natureza dos sedimentos da formação Serra Grande não propicia a acumulação de massas de solo residuais com características favoráveis, que sejam próprias para o emprego na construção de aterros, devido à escassez de seu teor de argilas, com conseqüente formação de solos não coesivos, ou pouco coesivos. A eventual concentração de intercalações silto-argilosas pode resultar, localmente, em ocorrências superficiais de solos mais favoráveis, embora de dimensões limitadas e volumes reduzidos. Decorre disso a necessidade de adaptar o projeto das barragens à escassez de solos coesivos,

reduzindo, nas seções mistas da barragem, as dimensões do núcleo, este ladeado por espaldares de enrocamento, obtido com facilidade na região.

Finalmente, o emprego de rochas da formação Serra Grande como brita para concreto, ou material para “rip-rap” está subordinado à identificação de algum horizonte que, tendo sido submetido a processo de silicificação, com conseqüente ganho de coerência e resistência mecânica, possua dimensões (espessura) suficientes para justificar sua exploração comercial.

## D. VISITA AOS SÍTIOS E OBSERVAÇÕES DE CAMPO

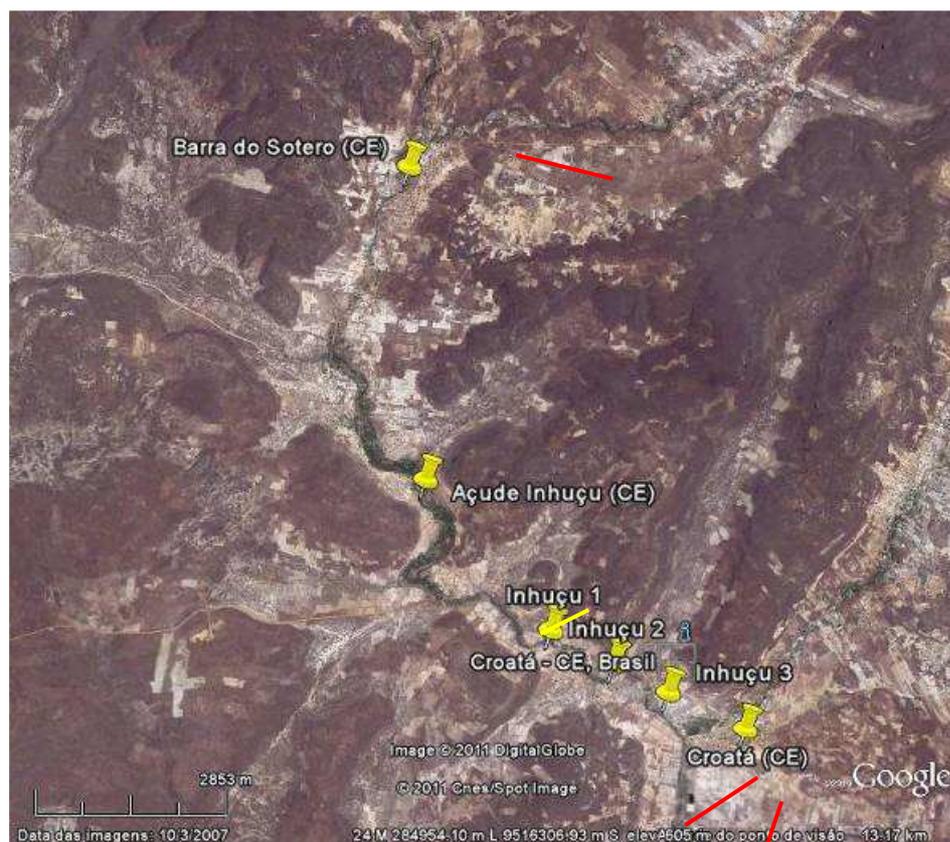
Tomando-se como referência a cidade de Croatá, foram visitados dois trechos do vale do rio Inhuçu, sendo um a montante e outro a jusante da cidade. A seguir, apresentam-se as principais observações realizadas nos sítios visitados.

### D.1 Sítios a montante de Croatá

O primeiro trecho, a montante da cidade, se estende até o povoado de Barra do Sotero e nele foram inspecionados cinco possíveis sítios de barramento. De jusante para montante, os sítios receberam a denominação de Inhuçu 3, Inhuçu 2, Inhuçu 1, Inhuçu (propriamente dito, apresentado nos estudos da Montgomery/Engesoft) e Barra do Sotero (**Figura 3.9**).

#### D.1.1 Sítio Inhuçu 3

Trata-se do sítio mais próximo a Croatá, situado cerca de 0,6 km a montante da cidade. Exibe uma planície ampla, com cerca de um km de largura, da qual o rio Inhuçu ocupa o eixo central. Ambas as ombreiras são bem definidas e se destacam com clareza. Afloramentos rochosos são visíveis nestas ombreiras, que apresentam o típico perfil escalonado, refletindo diferentes graus de coerência e resistência dos arenitos e de suas intercalações (**Foto 3.2**). Algumas camadas-guia sub-horizontais, de alta coerência, ressaltam nas encostas, escarpadas e, conseqüentemente, desprovidas de vegetação.



**Figura 3.9:** Localização aproximada dos cinco eixos de barramento cogitados a montante da cidade de Croatá. O chamado Açude Inhuçu (em amarelo) é o que consta dos estudos Montgomery/Engesoft.



**Foto 3.2:** Vista da ombreira esquerda da alternativa de eixo de barramento Inhuçu 3, o mais a jusante de todos, a partir da estrada que acompanha o rio pela margem esquerda (Foto tirada nas coord. UTM N 9.512.507 E 287.839 Sad 69).

A calha de cheia do rio exibe uma vegetação arbustiva, da qual sobressaem as carnaúbas. Poças e alagados revelam o alcance das cheias normais do rio. Nas áreas secas, o terreno superficial é arenoso, com areias brancas. Apesar do terreno arenoso, algumas áreas são cultivadas, destacando-se o cultivo do feijão (**Foto 3.2**).

Os sedimentos arenosos que preenchem a planície aparentam ser rasos e o topo rochoso arenítico deve se situar a poucos metros de profundidade.

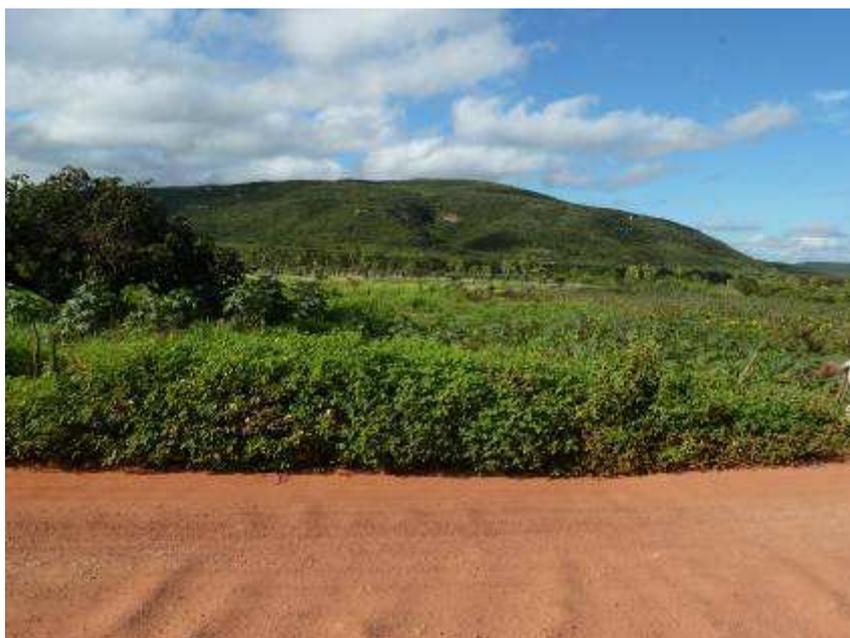
A seção longitudinal deste possível eixo de barramento não exibe um trecho que possa ser considerado mais favorável para a implantação de um sangradouro, previsto para a el. 582,00 m. O eixo possui uma extensão aproximada de 1,3 km, o que o coloca em desvantagem em relação às demais alternativas consideradas.

### D.1.2 Sítio Inhuçu 2

O possível sítio de barramento Inhuçu 2 se localiza cerca de 0,9 km a montante do sítio Inhuçu 3, tendo como referência o leito do rio, que divaga na planície, recoberta por uma delgada camada de sedimentos aluvionares (**Foto 3.3**).

As características deste eixo são as mesmas do eixo Inhuçu 3, com a diferença que a extensão do barramento seria mais reduzida, da ordem de 0,9 km.

Os flancos das encostas e o sopé são tipicamente locais de acumulação de blocos e detritos, geralmente constituídos por variedades de arenito mais resistentes, enriquecidas em sílica ou ferro (**Foto 3.4**). Soluções silicosas permearam os sedimentos da formação Serra Grande, impregnando a matriz de forma seletiva, não generalizada e conferindo características de alta resistência a algumas camadas. Pequenos geodos foram encontrados, preenchidos com cristais de faces livres, comprovando o processo de silicificação.



**Foto 3.3:** Vista da ombreira direita da alternativa de eixo Inhuçu 2, a partir da estrada que corre ao longo da margem esquerda (Foto tirada nas coord. UTM N 9.512.996 E 286.820).



**Foto 3.4:** Ombreira esquerda da alternativa de eixo de barramento Inhuçu 2. A trilha visível na encosta sinaliza a posição do eixo (Foto tirada nas coord. UTM N 9.512.996 E 286.820).

A travessia do rio Inhuçu é normalmente feita em passagens molhadas, que podem ser galgadas pelas águas durante as cheias. A **Foto 3.5** documenta uma dessas passagens, erguida em um trecho do rio particularmente estreito, o que se deve à presença de camadas de arenito ferruginoso dotadas de maior resistência mecânica (**Foto 3.6**).



**Foto 3.5: Travessia no rio Inhuçu, nas vizinhanças do povoado Volta do Rio. Notar os afloramentos rochosos em ambas as margens (Coord. UTM N 9.513.819 E 284.320).**



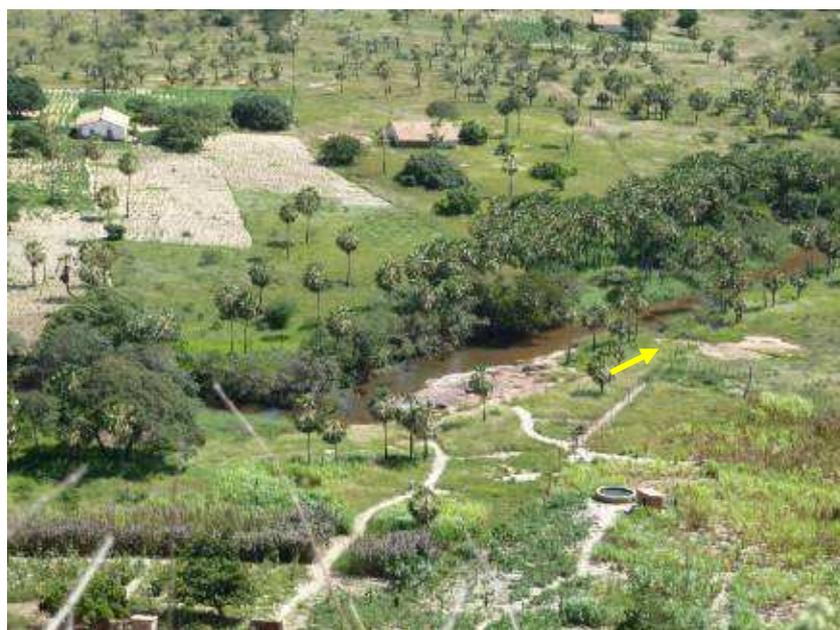
**Foto 3.6: Detalhe da foto anterior. Horizonte de arenito enriquecido em óxidos de ferro, que conferem à rocha maior coerência e resistência.**

### D.1.3 Sítio Inhuçu 1

Procedendo de jusante para montante, alcança-se um outro local selecionado para a implantação de um barramento, denominado Inhuçu 1. Trata-se de um dos melhores eixos, posto que as características fisiográficas e geológicas são similares às dos demais eixos, mas a extensão da crista seria bastante reduzida, da ordem de no máximo 0,8 km.

A ombreira direita se ergue em rampa de forte declividade, encimada por um platô extenso e largo, que corresponde ao topo da denominada serra de Croata. No alto do platô da vertente direita, ao longo do eixo de barramento, foi identificado o marco topográfico credenciado nº 006, de altitude aproximada 624 m .

A calha do rio ocupa o centro da planície, ladeada por estreita mata ciliar. Bancos de areia e afloramentos rochosos podem ser percebidos no próprio leito do rio e em suas margens. À área é submetida a atividades agrícolas, em pequenos lotes dedicados ao plantio de gêneros de subsistência (**Fotos 3.7 e 3.8**).



**Foto 3.7: Detalhe da foto anterior. Notar os extensos afloramentos rochosos à margem do rio, no sítio Inhuçu 1 (Coord. UTM N 9.512.839 E 285.618).**



**Foto 3.8: Vista da área de interesse à alternativa de eixo de barramento Inhuçu 1 (Coord. UTM N 9.512.839 E 285.587). A linha pontilhada assinala a posição aproximada do eixo.**

A ombreira direita de Inhuçu 1 possui uma cobertura de solos inexpressiva, com grande acúmulo de blocos e fragmentos rochosos na superfície do terreno (**Foto 3.9**). Junto ao topo da elevação, a declividade se acentua, devido á presença de uma escarpa rochosa de arenito silicificado. Grandes blocos se destacam continuamente (na escala geológica de tempo) na crista e se colocam em situação de equilíbrio precário, com abertura gradual de extensas fendas verticais, antes de tombar.



**Foto 3.9: Ombreira direita da alternativa de eixo de barramento Inhuçu 1 (Coord. UTM 9.512.962 E 285.679). O eixo de barramento é assinalado pela trilha no centro da imagem.**

No fundo do vale, o substrato rochoso arenítico se situa muito próximo à superfície do terreno e a delgada cobertura de solo é de natureza essencialmente areno-siltosa, fina, desprovida de coesão. Uma das principais questões a ser investigada diz respeito à localização e identificação de materiais de construção para o corpo da barragem.

#### D.1.4 Sítio Inhuçu (dos estudos Montgomery Watson/Engesoft)

O sítio Inhuçu é aquele que consta dos estudos da Montgomery Watson/Engesoft (Ref. 2), localizado a montante do povoado de Volta do Rio.

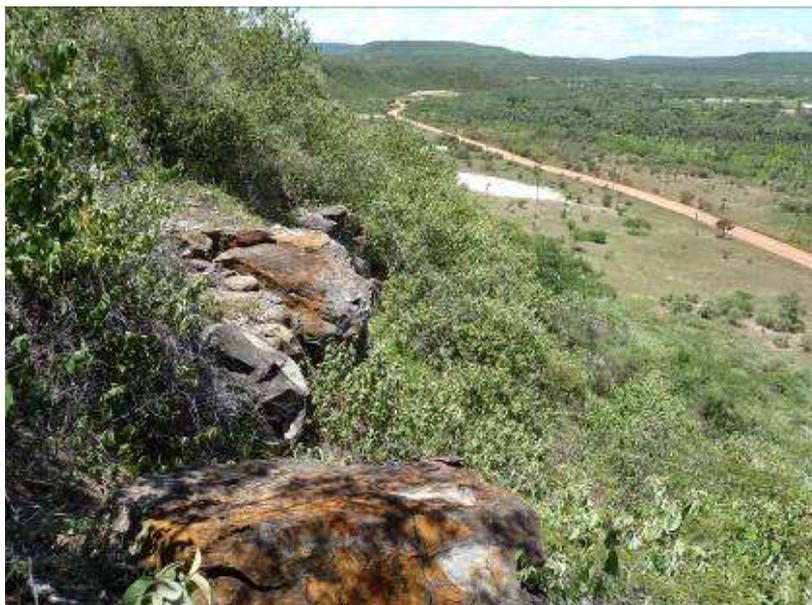
A semelhança dos demais sítios, o leito do rio corre sobre um fundo de vale aplainado, em que ocorrem afloramentos de arenito, com intercalações de siltito. Nas margens, o capeamento de solo é delgado e tipicamente areno-siltoso, não coesivo. Em superfície, o arenito se apresenta pouco coerente, devido à atuação dos agentes de intemperismo.

Trata-se, entretanto, do eixo de barramento com menor extensão de crista, que seria da ordem de 0,75 km.

A ombreira esquerda é saliente (**Foto 3.10**) e exhibe grande quantidade de afloramentos, alguns deles na forma de extensos horizontes-guia, constituídos por arenito muito consistente, endurecido provavelmente por processo secundário de silicificação (**Foto 3.11**).



**Foto 3.10: Vista parcial da ombreira esquerda da alternativa de eixo Inhuçu (do estudo Montgomery Watson/Engesoft), tirada a partir da estrada (Coord. UTM N 9.515.631 E 284.285).**



**Foto 3.11:** Foto tirada do alto da ombreira esquerda da alternativa de eixo Inhuçu (do estudo Montgomery Watson/Engesoft) (cota 590 m) (Coord. UTM 9.515.662 E 284.346). Em primeiro plano, um nível de arenito silicificado, que ressalta na topografia e constitui um bom horizonte-guia.



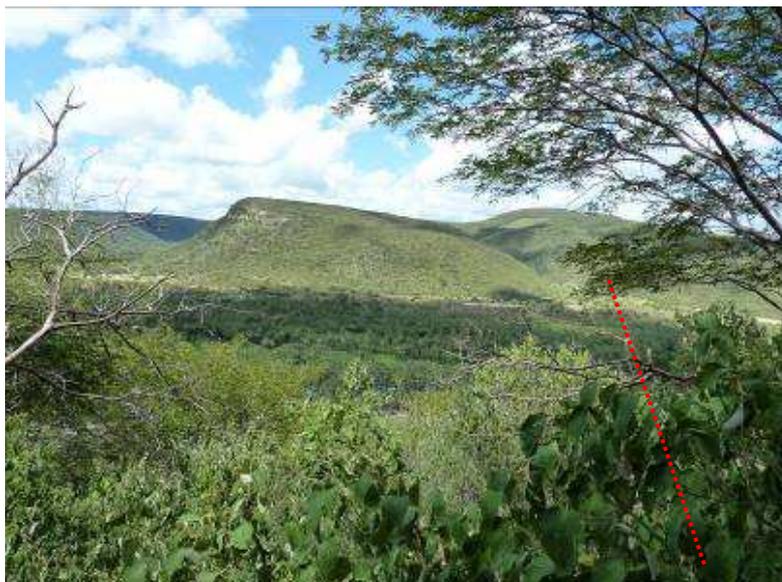
**Foto 3.12:** Afloramentos rochosos e acúmulos de blocos soltos, de dimensões as mais variadas, atapetam a ombreira esquerda da alternativa Inhuçu (Coord. UTM 9.515.632 E 284.408).

A ombreira esquerda exibe, ainda, grande quantidade de blocos soltos, acumulados em superfície (**Foto 3.12**). Em um ou outro afloramento, é possível observar a atitude do acamamento, mas o mergulho, de baixo ângulo, não ocorre para oeste, como seria de se esperar, mas para nordeste (**Foto 3.13**). Esta discrepância em relação ao mergulho regional pode ser atribuída a basculamentos decorrentes do tectonismo já referido anteriormente.



**Foto 3.13:** Em alguns afloramentos, como na ombreira esquerda da alternativa de eixo Inhuçu, é possível identificar a atitude do acamamento, que mergulha alguns graus para leste, em discrepância com o típico mergulho regional, para oeste (Coord. UTM 9.515.632 E 284.408).

Outras evidências de basculamento de blocos podem ser percebidas à distância, como no caso da elevação visível na **Foto 3.14**, que corresponde justamente à ombreira esquerda do eixo Inhuçu (indicado nos estudos da Montgomery/Engesoft). Observa-se, na foto, que o mergulho das camadas é para a direita, isto é, para sudeste, contrariando novamente a atitude esperada, de mergulho para o interior da bacia sedimentar, isto é, para oeste.



**Foto 3.14:** Foto tirada do alto da ombreira direita da alternativa de eixo de barramento Inhuçu (aquele que consta dos estudos da Montgomery Watson/Engesoft). Notar o basculamento do bloco no centro da imagem, com inversão do mergulho, em decorrência do histórico de tectonismo regional (Coord. UTM N 9.515.139 E 283.885). A linha tracejada assinala a posição aproximada do eixo de barramento Inhuçu.

A presença de uma concentração de blocos rochosos na ombreira esquerda do eixo Inhuçu (**Foto 3.15**) levanta a questão a respeito da conveniência de deslocar o encontro da barragem na ombreira, para montante ou para jusante, de modo a evitar a acentuada declividade naquele local.



**Foto 3.15:** Focalizando a ombreira esquerda do eixo alternativo Inhuçu (do estudo Montgomery Watson/Engesoft) (Coord. UTM N 9.515.139 E 283.885).

Duas sondagens mistas foram feitas ao longo do eixo de barramento, uma em cada margem. Ambas confirmaram que o substrato rochoso se situa a pequena profundidade e que o arenito é bastante heterogêneo, tanto em sua composição e granulometria, quanto em suas características de coerência. Os níveis de recuperação oscilaram bastante, caindo abaixo de 50% na SM-01, ao longo de um trecho de três metros. No depoimento do sondador, a velocidade de avanço da sonda variava bastante, refletindo a heterogeneidade nos níveis de coerência da rocha.

As sondagens foram feitas utilizando sonda de avanço manual, coroa de diâmetro BX (testemunhos de 42 mm) e barrilete simples. A fragilidade do arenito recomenda que eventuais novas sondagens sejam feitas com diâmetro maior (NX) e barrilete duplo livre.

Quanto à permeabilidade do maciço arenítico, dos seis ensaios de perda d'água sob pressão feitos, ao todo, nas duas sondagens, cinco resultaram em perdas totais. Dadas as características do arenito, é ilusório pensar que seja possível executar uma cortina de vedação eficaz, na fundação da barragem, utilizando as técnicas convencionais de injetar calda de cimento em furos de sondagem, por mais próximos que os furos sejam. A redução do fluxo d'água pela fundação da barragem deve ser provida por outros meios, de preferência por tapete impermeável capaz de reduzir o gradiente hidráulico, pelo aumento do caminho de percolação, além dos dispositivos convencionais de controle de percolação.

Para a identificação de materiais de construção, foram estudadas duas ocorrências, uma situada no terraço aluvionar do rio, na margem esquerda, pouco a montante do sítio de barramento. Os sedimentos aluvionares, com espessura da ordem de um metro, se revelaram de granulometria areno-siltosa. A segunda ocorrência se localiza a jusante do eixo, em um vale na margem direita. Nesta área foram feitos cinco furos e coletadas amostras para ensaios de caracterização. Os sedimentos se revelaram, aqui, de natureza areno-silto-argilosa, com pedregulho, coloração amarelada e espessura média de 1,3 m. Segundo os estudos de viabilidade, ambas as ocorrências tem grande capacidade volumétrica, podendo suprir as demandas previstas para o maciço.



**Foto 3.16: Pequena cava de exploração local, no pé da ombreira direita da alternativa de eixo Inhuçu (do estudo Montgomery Watson/Engesoft) (Coord. UTM N 9.515.231 E 283.916).**

Para a proteção do talude de montante do barramento, indicou-se, nos estudos de viabilidade, o uso de blocos de arenito sãos, provenientes das escavações obrigatórias do sangradouro, situado a cerca de dois km de distância, em uma sela topográfica na vertente direita, eventualmente complementados com extração em pedreira. Um possível local de pedreira foi identificado na margem esquerda, pouco a montante do eixo de barramento.

Já, o agregado graúdo para o concreto estrutural deve ser obtido, segundo os estudos de viabilidade, de rochas graníticas competentes, que ocorrem próximas da serra do Carnutum e da cidade de Frecheirinha, a cerca de 160 km do local.

Quanto à areia para construção, foram observados, ao longo da calha do rio Inhuçu, pequenos depósitos de areia média, com boas características para uso no sistema de drenagem interna do maciço. Entretanto, considerou-se necessária a exploração de uma grande extensão de rio para obtenção dos volumes previstos.

#### **D.1.5 Sítio a montante de Barra do Sotero**

A busca de situações mais favoráveis de barramento, com interferências ambientais as menores possíveis, conduziu à indicação de um eixo de barragem situado a montante do povoado de Barra do Sotero, que os demais sítios condenam à submersão.

O eixo de barramento, neste caso, se desenvolveria a montante do ponto de encontro dos rios Inhuçu e Piau (**Fotos 3.17 e 3.19**), galgando o interflúvio entre eles. Isso levaria a uma grande extensão de eixo, superior à das demais alternativas. Por outro lado, o volume de água a ser armazenado exigiria que a barragem alcançasse altura da ordem de 60 metros, o que se refletiria na necessidade de localização de grandes volumes de material para o corpo da barragem.



**Foto 3.17: Vista parcial de um possível eixo de barramento, situado a montante do povoado de Barra do Sotero (Coord. UTM N 9.520.792 E 284.148).**

As **Fotos 3.18 e 3.19** focalizam a ombreira direita, vista de longe. O sangradouro encontraria local adequado na própria ombreira direita, onde existe uma plataforma em posição topográfica favorável.

Do ponto de vista da geologia, valem os comentários já feitos nos demais sítios cogitados. Os afloramentos rochosos são abundantes nas margens dos dois rios e, mesmo nas encostas, o capeamento de solos aparenta ser delgado. Se, de um lado, a escassez de solos é favorável em termos de fundação para a barragem, de outro representa um fator restritivo, dada a dificuldade de obtenção de materiais adequados para o aterro.



**Foto 3.18: Local de encontro dos rios Inhuçu e Piau, algumas centenas de metros a montante do povoado de Barra do Sotero (Coord. UTM 9.520.669 E 284.056).**



**Foto 3.19: Ponto de encontro das águas dos dois rios. O rio Piau entra pelo lado esquerdo da foto (Coord. UTM 9.520.669 E 284.056).**



**Foto 3.20: Ao longe, vista parcial da ombreira direita de uma eventual alternativa de eixo de barramento, a montante do povoado de Barra do Sotero.**



**Foto 3.21: Passagem molhada em Barra do Sotero (Coord. UTM 9.519.870 E 283.688). Esta barreira, reformada recentemente, já foi galgada por ocasião de uma enchente, durante cerca de uma semana.**

## D.2 Sítios a jusante de Croatá

O trecho de interesse a jusante de Croatá estende-se até o povoado de São José das Lontras e nele constam três possíveis sítios de barramento. De montante para jusante, os sítios foram nomeados como Lontras (propriamente dito, apresentado nos estudos da Montgomery Watson/Engesoft), Lontras 1 e Lontras 2.

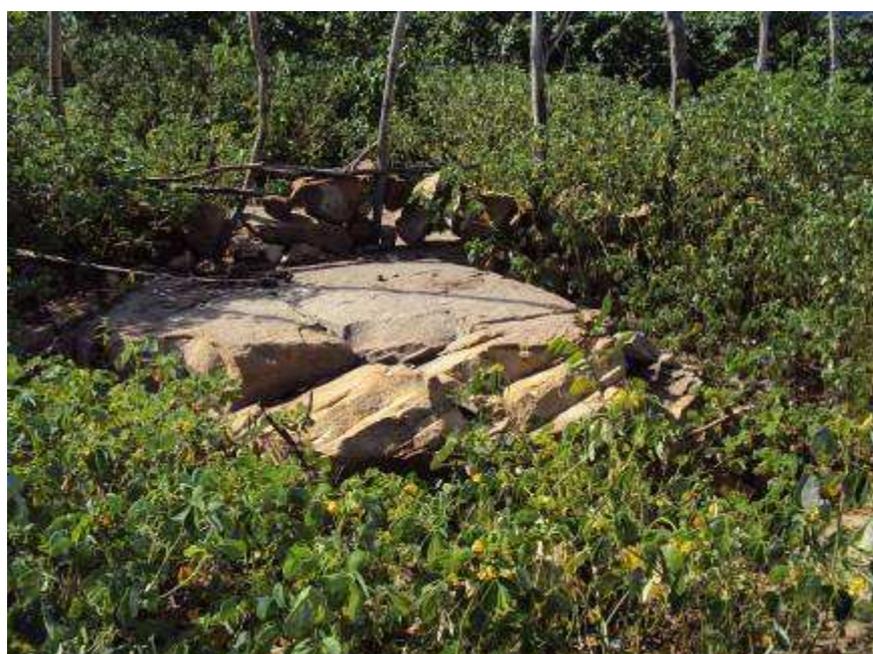
No dia da visita, devido ao adiantado da hora e a problemas logísticos, somente foram inspecionados os dois primeiros sítios deste trecho, de montante para jusante (**Figura 3.10**).



**Figura 3.10:** No trecho do rio Inhuçu a jusante de Croatá, foram identificados três possíveis sítios de interesse. Por razões logísticas, foram visitados somente os dois mais a montante. O Açude Lontras (em amarelo) é o dos estudos da Montgomery Watson/Engesoft.

### D.2.1 Sítio Lontras

No sítio Lontras (do estudo da Montgomery Watson/Engesoft), os afloramentos rochosos são frequentes e ocorrem praticamente ao longo de toda a ombreira esquerda. Alguns afloramentos surpreendem pela qualidade do arenito, mais consistente do que nos sítios a montante de Croatá. Trata-se de um arenito silicificado, de coloração clara e resistência muito elevada (**Foto 3.22**). O processo de silicificação é atestado pela presença de cristais prismáticos de quartzo, com aspecto drusiforme, preenchendo pequenas cavidades no arenito, possivelmente coincidentes com planos de acamamento (**Foto 3.23**).



**Foto 3.22: Afloramento rochoso (arenito muito coerente) na alternativa de eixo Lontras (dos estudos Montgomery Watson/Engesoft), próximo à rodovia, na vertente esquerda do vale (Coord. UTM aprox. N 9.499.000 E 283.100).**



**Foto 3.23: Superfície drusiforme de cristais salientes de quartzo secundário, com faces prismáticas, crescidos em geodo, testemunhando o processo de silicificação do próprio arenito, que adquiriu características de resistência elevada.**

Ao longo da margem esquerda, na aproximação ao rio, nota-se a presença de sedimentos finos aluvionares, silto-argilosos, com conteúdo orgânico. Provavelmente esses sedimentos decorrem do surgimento de alguma seção de controle local, que propiciou a formação temporária de uma pequena bacia de sedimentação. Mesmo na margem esquerda do rio, esses sedimentos estão presentes (**Fotos 3.24 e 3.25**) .



**Foto 3.24: Rio Inhuçu, no eixo de barramento de Lontras (previsto nos estudos da Montgomery Watson/Engesoft). Na margem direita ocorre um afloramento de rocha, assinalado pela seta amarela (Foto tirada nas coord. UTM N 9.499.122 E 282.894).**



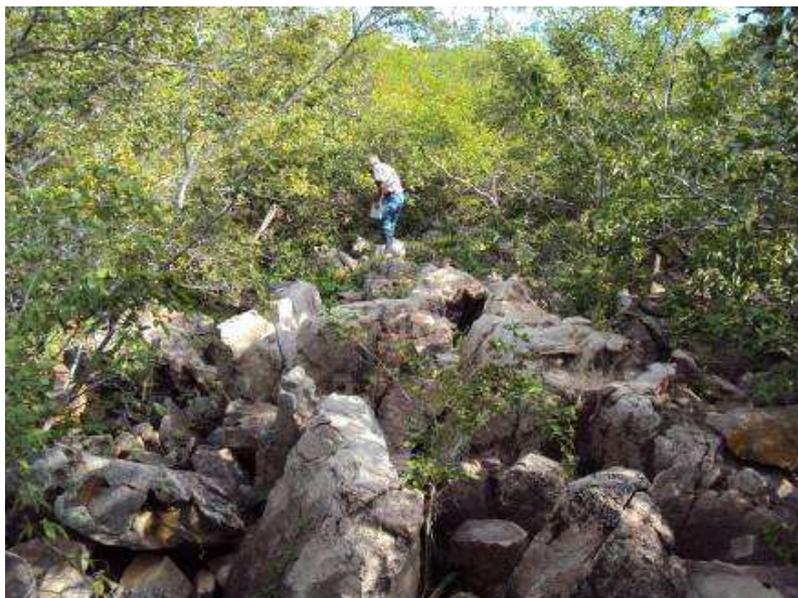
**Foto 3.25: Rio Inhuçu no eixo de barramento Lontras (dos estudos Montgomery/Engesoft). Outros afloramentos rochosos são visíveis em ambas as margens (Foto tirada nas coord. UTM N 9.499.122 E 282.894).**

Neste sítio foram executadas três sondagens mistas, sendo duas no lado esquerdo do rio (SR-01 e SM-02) e uma no lado direito (SM-03). As sondagens foram de diâmetro modesto (BX), com emprego de barrilete simples. Os níveis de recuperação foram muito variáveis, girando, em média, entre 60% e 90%, mas em diversos trechos a recuperação foi inferior a 60%. Os resultados, pouco satisfatórios, podem ser atribuídos à qualidade dos equipamentos, conjugadamente à variabilidade nos níveis de coerência dos arenitos.

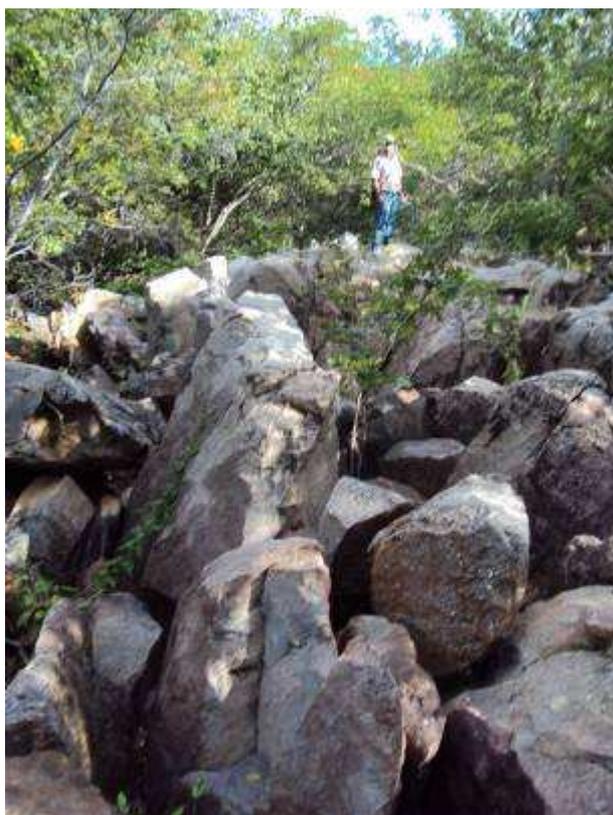
A SM-02 atravessou uma passagem de solo silto-argiloso, com 0,6 m de espessura. As características de permeabilidade, investigadas por ensaios de perda d'água sob pressão, apontam para um significativo número de perdas totais, em cinco dos nove ensaios realizados.

A ombreira esquerda do eixo Lontras (dos estudos Montgomery Watson/Engesoft) apresenta aspectos peculiares. Em seu trecho inferior, mais próximo ao fundo do vale, a superfície do terreno é recoberta por grande quantidade de fragmentos e blocos de arenito, a semelhança de tantos outros locais. O substrato rochoso ora aflora, ora é recoberto por delgada camada de solo e detritos.

Percorrendo-se o eixo, a partir da estrada que existe na vertente esquerda, em direção ao alto da ombreira, encontra-se uma extensa área de afloramentos rochosos desestruturados, configurando um empilhamento contínuo de blocos (**Fotos 3.26 e 3.27**). Trata-se, provavelmente, de uma estrutura de colapso, em que o maciço rochoso arenítico rígido sofre movimentação lenta e contínua, em direção a um pequeno vale, que se desenvolve paralelamente ao eixo de barramento, imediatamente a montante. O fenômeno lembra os casos de colapso de encostas causados pela migração de blocos, como consequência da deformação (squeezing) de horizontes de materiais plásticos, sotopostos a camadas rígidas. O movimento dos blocos rígidos é coletivo e assemelha-se a um jogo de peças de dominó.



**Foto 3.26: No alto da ombreira esquerda do sítio Lontras, estrutura de colapso do maciço rochoso arenítico, de origem duvidosa, possivelmente por deformação plástica de horizonte sotoposto (Coord. UTM N 9.498.800 E 282.960).**



**Foto 3.27: Outra vista da estrutura de colapso do maciço arenítico. Os blocos estão se deslocando como peças de dominó, em direção ao fundo de vale adjacente, que é paralelo ao eixo de barramento (Coord. UTM N 9.498.800 E 282.960).**

Vistas de longe, as encostas do vale que se situa imediatamente a montante do eixo de barramento mostram que este mesmo mecanismo é generalizado. Paredes rochosas ao longo do vale exibem grande quantidade de blocos em processo de movimentação.

É recomendável que o eixo de barramento cogitado para Lontras não permaneça neste local, devendo-se procurar um outro local, afastado da área afetada pelo referido processo de colapso.

Quanto aos materiais de construção, nos estudos de viabilidade foram investigadas duas possíveis áreas de empréstimo, pouco a montante do eixo de barramento, uma em cada margem, tendo sido abertos, ao todo, 16 poços, dos quais foram retiradas amostras para caracterização. Na margem esquerda, ocorre um horizonte de cascalho silto-argiloso, de coloração avermelhada, com blocos de arenito, com cerca de 1,2 m de espessura, sobreposto a uma camada de silte argiloso, com espessura variável, de até 3,2 m. Foram aqui abertos 12 poços, que revelaram uma espessura média de 2,3 m para os dois horizontes. Já, na margem direita, os materiais identificados foram os mesmos, mas as espessuras, menores. Quatro poços indicaram espessura média de 1,1 m.

Depósito de areia média e grossa foram observados e investigados ao longo do rio, com características adequadas para uso como filtros e agregado miúdo de concreto.

O material “random” da escavação do sangradouro, situado na ombreira direita, bem como blocos de arenito existentes na superfície do terreno, em toda a área, foram considerados adequados para uso como proteção dos taludes de montante e jusante da barragem, bem como para as transições.

Foi também identificada, nos estudos de viabilidade, uma possível área de pedreira, na margem esquerda, ao longo do pequeno vale que ocorre imediatamente a montante do eixo de barramento.

### D.2.2 Sítio Lontras 1

Este sítio foi alcançado a partir da estrada que acompanha o vale fluvial, ao longo da vertente esquerda. Uma extensa trilha, com baixa declividade, conduz às vizinhanças do rio (**Foto 3.28**), onde ocorre uma súbita quebra no relevo e a declividade se torna acentuada, configurando um “canyon” (**Foto 3.29**), até alcançar o fundo do vale.

Próximo ao canyon, a vegetação passa de arbustiva, tipicamente de cerrado, para arbórea, graças ao mais elevado teor de umidade que emana do fundo de vale. A encosta, neste trecho, é

recoberta por um amontoado de blocos, de grandes dimensões, que se desprendem das paredes do canyon (**Fotos 3.30 e 3.31**).



**Foto 3.28:** A extensa trilha, com cerca de um km, aberta na vertente esquerda do vale, em vegetação típica de cerrado, conduz ao sítio de Lontras 1, partindo da estrada.



**Foto 3.29:** Foto tirada próximo ao “canyon” que caracteriza a alternativa de eixo Lontras 1, olhando do alto da margem esquerda para a direita. Ao longe, é visível uma escarpa em arenito, que sinaliza a parede do canyon, na vertente direita do vale (Coord. UTM aprox. N 9.496.860 E 281.270).



**Foto 3.30: Na alternativa de eixo Lontras 1, a escarpa do canyon, na margem esquerda, é recoberta por acúmulos de blocos de arenito de grandes dimensões.**



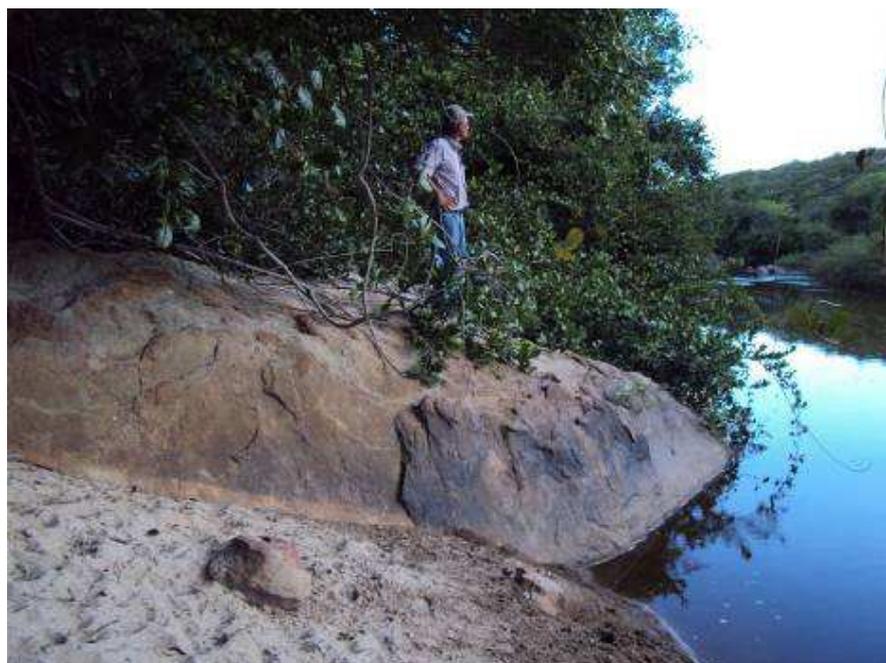
**Foto 3.31: Vista do acúmulo de blocos que recobre a encosta do canyon, do lado esquerdo do rio, na alternativa Lontras 1.**

O leito do rio é estreito, não ultrapassando dez metros de largura (**Foto 3.32**). As águas correm mansas, mas um ruído próximo de cachoeira e a própria imagem do Google Earth revelam que o sítio de barramento da alternativa Lontras 1 se localiza entre dois bruscos degraus no perfil do rio.

À margem esquerda do rio, grandes blocos de rocha tombados do alto se encontram parcialmente soterrados em um depósito de areias finas (**Foto 3.33**).



**Foto 3.32:** No fundo do canyon, na alternativa de eixo Lontras 1, as águas do rio correm mansas, num trecho delimitado por corredeiras frequentes ( Coord. UTM aprox. N 9.496.900 E 281.250).



**Foto 3.33: No sítio Lontras 1, blocos de rocha de grandes dimensões, rolado do alto da encosta, à margem esquerda do rio.**

A ombreira direita não foi visitada, por dificuldades de acesso, mas configura-se similar à esquerda, isto é, com características de canyon em seu trecho inferior, próximo ao rio, seguida por um amplo platô, em cotas mais altas, que se eleva lentamente até alcançar a cota de coroamento.

### **D.2.3 Sítio Lontras 2**

Não foi visitado, por razões logísticas. No entanto, a observação do relevo do terreno, obtido pelo levantamento topográfico, permite concluir que nesse eixo o rio transcorre num canyon mais acentuado que no sítio Lontras 1, com escarpas de até 35 metros de altura para uma largura do rio de cerca de 20 metros.

Pelo perfil topográfico antevê-se, para o mesmo nível do reservatório admitido nas outras alternativas, que a barragem alcançaria uma altura máxima de cerca de 80 metros nesse local, contra 45 metros no sítio Lontras1.

Acresce-se a esta significativa altura do maciço as dificuldades de acesso ao fundo do vale, as onerosas soluções para ligação entre as margens e toda uma logística complexa necessária a realização das obras nesse fundo de vale.

## E. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1) Na região de interesse aos empreendimentos, a sismicidade regional está longe de poder ser tida como desprezível, devendo ser levada em consideração, em função de sua magnitude histórica, no estudo e dimensionamento de grandes obras de infra-estrutura. Uma análise mais acurada deve ser realizada para o estabelecimento dos valores de aceleração da gravidade horizontal e vertical, para efeito de cálculo da estabilidade dos maciços e escavações, sob esta condição de carregamento.

2) Na região, o tectonismo pós-paleozóico atuou de maneira intensa, deixando como herança uma faixa tectonicamente abatida, com blocos basculados e uma densa rede de falhas geológicas. Essas feições serão provavelmente percebidas e observadas com maior clareza por ocasião dos trabalhos construtivos, quando poderão causar algum tipo de interferência com as superfícies de assentamento das estruturas.

3) A heterogeneidade intrínseca aos sedimentos da formação Serra Geral tem forte influência sobre as 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 exige que os projetos se cerquem de todos os possíveis cuidados e dispositivos, para evitar processos de arraste de partículas, com conseqüente aparecimento de cavidades e surgências descontroladas de água do lado jusante do barramento.

4) Dadas as características de heterogeneidade do arenito, com a ocorrência de níveis e estratos inconsolidados, é ilusório pensar que seja possível executar uma cortina de vedação eficaz, na fundação da barragem, utilizando as técnicas convencionais de injetar calda de cimento em furos de sondagem, por mais próximos que os furos sejam. A redução do fluxo d'água pela fundação da barragem pode ser provida por outros meios, de preferência por tapete impermeável capaz de reduzir o gradiente hidráulico, pelo aumento do caminho de percolação, além dos dispositivos convencionais de controle de percolação.

5) No caso de uma barragem de seção mista, diante da escassez de solos coesivos, a implantação de um tapete impermeável a montante do núcleo pode ser feita com uma camada de concreto de pequena espessura, que serviria também de apoio para o espaldar de enrocamento de montante. O emprego de geomembrana PEAD, protegida por delgada camada de concreto, pode também ser cogitado.

6) Dada a baixa confiabilidade sobre a eficiência de cortinas de injeção convencionais, com calda de cimento, para redução e controle do fluxo d'água pela fundação, no caso de arenitos com intercalações de horizontes arenosos não consolidados, pode-se cogitar no emprego de uma cortina feita com a técnica das estacas secantes, que possui custo elevado, mas é muito eficiente como elemento corta-águas.

7) Na avaliação dos sítios de barramento selecionados a montante da cidade de Croatá (cinco sítios foram visitados), as características geológicas pouco diferem e o conjunto pode ser considerado homogêneo, neste aspecto. Decorre disso que a escolha do sítio para prosseguimento dos estudos deverá recair sobre outros aspectos, que não os geológicos.

8) A avaliação dos sítios a jusante de Croatá foi prejudicada, por somente terem sido visitados dois dos três sítios previamente selecionados. Mesmo assim, as observações feitas ao longo da ombreira esquerda do sítio Lontras (aquele dos estudos Montgomery Watson/Engesoft), que conduziram à identificação de um processo de colapso do maciço rochoso naquela ombreira, recomendam que o sítio seja desconsiderado, por não ser possível conviver com aquele processo. No sítio Lontras 1 tal processo não foi identificado.

9) Sob a ótica do relevo topográfico o sítios Lontras 1 parece mais promissor que o de Lontras 2, pois acarreta numa obra com altura máxima menor em 35 metros e acarreta numa logística de ataque das obras menos complexa, pois o canyon a ser cruzado é mais baixo e menos escarpado.

10) É recomendável que as futuras campanhas de sondagens mecânicas sejam feitas empregando-se equipamentos e técnicas mais sofisticados, capazes de fornecer níveis de recuperação altos, que permitam identificar com clareza as características de coerência das sucessivas camadas, eliminando-se dúvidas e incertezas que decorreram, na primeira campanha, do uso de equipamentos antigos.

## F. MATERIAL CONSULTADO

Governo do Estado do Ceará – Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – 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 – Proposta Técnica - Engesoft Engenharia/IBI Engenharia – Agosto/2009.

Governo do Estado do Ceará – Secretaria de Recursos Hídricos – Elaboração do Diagnóstico, dos Estudos Básicos e dos Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba – Fase IV – Estudos de Alternativas – Volume I – Relatório Geral – Tomo I; Volume 2 – Anteprojeto das Obras; Volume 4 – Estudos Geotécnicos. Montgomery Watson/Engesoft Engenharia.

Oliveira, P.H.S. de – Estudo da sismicidade da região de Sobral – CE em 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. 178 páginas.

Carvalho, M.J. de – Estruturação do Grupo Serra Grande na região de Santana do Acaraú (CE) e a reativação do lineamento Sobral-Pedro II: integração com dados geofísicos. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003. 30 páginas.

Malveira, V.T.C. & Sousa, L.N. – Monitoring seepage anomalies in the Jaburu I Dam. In: Dam Maintenance and Rehabilitation II – Romeo Garcia et al. (eds) 2011 - Taylor & Francis Group, London, ISBN. P.319-323.

CARVALHO, L.H.de – Incidente na fundação de uma barragem-de-terra, assente sobre arenito. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 19. Aracaju, 1991. Anais... Rio de Janeiro, CBGB. 1991. p. 1-14.

CARVALHO, L.H. de – Jaburu Dam: foundation improvement. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS, 17. Vienna, 1991. Anais...Paris: ICOLD, 1991. p.1755-1764.

COBA – Projeto executivo de recuperação da barragem Jaburu I. Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará. Fortaleza. 2000.

SOUZA, V.A.D. de, CASTRO, M.A.H. de, FONTANELLE, A. de S. e OLIVEIRA, Y.C. – Obras de recuperação e intervenções de segurança efetuadas na fundação e aterro compactado da barragem Jaburu I. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 26. Goiânia, 2005. Anais...Goiânia. T.95A17. 14 p.

#### 3.4.2.2. *Geologia Relativa ao Circuito Túnel/PCH*

O traçado do túnel de adução, com orientação W-E, foi integralmente percorrido, desde a zona de implantação das obras de captação até as proximidades da localidade de Matriz. Foram visitadas as possíveis zonas de saída do túnel, de localização do penstock e da central hidrelétrica, assim como a restituição às linhas de água existentes. Foi possível observar alguns afloramentos rochosos e encostas praticamente verticais, paredões com exposição do maciço sedimentar.

De acordo com a informação recolhida pode-se inferir que o túnel atravessará rochas areníticas da Formação Serra Grande, com orientação monoclinal e inclinação de poucos graus Oeste.

A Formação Serra Grande, de idade Siluriano/Devoniano, apresenta estratos com grande expressão areal, com variações litológicas que vão desde arenitos muito compactos, com cimento ferruginoso, arenitos cinzentos com passagens conglomerádicas, até silto-arenitos de cores claras e aspecto mais brando.

Também foi possível observar nos afloramentos variações importantes no grau de fraturação e alteração das rochas. Estima-se que em profundidade o grau de alteração seja mais reduzido, com exceção das zonas tectonizadas. Refere-se, no entanto, que não são referidas falhas geológicas importantes no traçado do túnel.

### **3.4.3. Geotecnia**

#### *3.4.3.1. Geotecnia Relativa aos Barramentos Alternativos*

A busca de materiais adequados para as barragens motivou uma inspeção a uma vasta área, que se estendeu até os centros urbanos de Carnaubal, Inhuçu, Guaraciaba e Descoberto. Foram visitadas diversas cavas de material, ativas e abandonadas, nas localidades de Santa Tereza, Jacaré, Deserto, etc.

Em toda a região de interesse aos empreendimentos, o capeamento de solo é normalmente delgado e os solos são de constituição predominantemente arenosa, com baixo percentual de argila, portanto, de plasticidade baixa ou nula. Por outro lado, as características climáticas regionais propiciaram o desenvolvimento de perfis do terreno ricos em materiais granulares lateríticos, formados principalmente de grânulos compostos por óxidos e hidróxidos de ferro. Trata-se, entretanto, de um material desprovido de características coesivas.

##### **3.4.3.1.1 Cava ativa de laterita em Volta do Rio**

Foi visitada uma jazida localizada a cerca de quatro km de distância da travessia sobre o rio Inhuçu, em Volta do Rio, onde prevalece um material granular laterítico, não coesivo (**Fotos 3.34, 3.35 e 3.36**).



**Foto 3.34: Material granular laterítico em cava em processo de exploração. A ocorrência é de origem coluvionar, tendo sido o material transportado por diversos agentes (Coord. UTM N 9.513.411 E 281.176).**

As dimensões da ocorrência não foram definidas, mas sua espessura máxima é da ordem de dois metros (**Foto 3.35**), limitada pela presença de um estrato de arenito coerente em sua base (**Foto 3.36**). O material se destina ao capeamento de estradas vicinais.



**Foto 3.35: Detalhe da cava, notando-se a altura da parede, de cerca 2,2 m, que corresponde à espessura máxima da ocorrência (Coord. UTM N 9.513.411 E 281.176).**



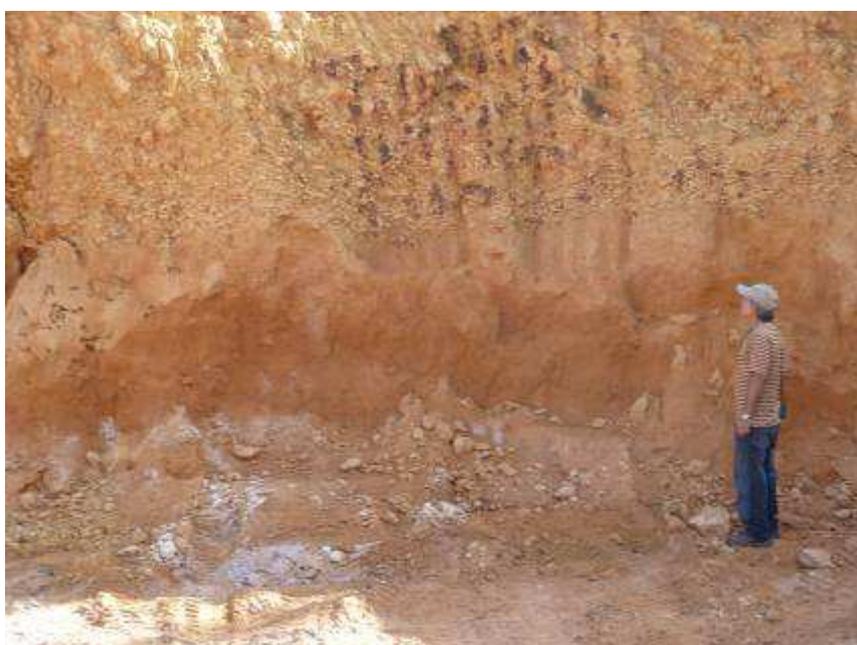
**Foto 3.36: Vista parcial da cava de material granular laterítico, sobreposta ao substrato rochoso arenítico (Coord. UTM N 9.513.411 E 281.176).**

#### 3.4.3.1.2 Cava ativa de laterita e solo arenoso em Santa Tereza

Em diversas cumeadas, encontram-se depósitos de materiais granulares lateríticos, que parecem ser originados pelo retrabalhamento de antigas camadas e estratos de natureza laterítica, isto é, ricas em ferro, cuja origem estaria associada a oscilações do lençol freático e migração de íons férricos e ferrosos, em meio aquoso. Esses depósitos superficiais lateríticos encobrem solos arenosos finos e homogêneos (**Fotos 3.37 e 3.38**), provenientes da desagregação dos arenitos Serra Grande.



**Foto 3.37: Cava de solo laterítico concrecionado (superficial) seguido, em profundidade, por solo arenoso com características levemente coesivas. A altura máxima do corte é de quatro metros. A cava se situa no distrito de Santa Tereza, afastado da área de interesse aos empreendimentos, mas revela a qualidade dos materiais disponíveis na região (Coord. UTM N 9.536.644 E 296.384).**



**Foto 3.38: Detalhe da foto anterior (Coord. UTM N 9.536.644 E 296.384).**

O referido material granular que capeia as encostas, graças a seu forte conteúdo de concreções lateríticas é adequado para lastreamento de rodovias, sendo usado intensamente no sistema viário local. Uma vez espalhado e compactado, o material granular constitui um piso durável e de boa aderência.

No piso da cava de material documentada nas fotos acima, foi observada a presença de um horizonte de siltito de coloração arroxeada, indicando que o substrato rochoso se encontra próximo.

#### 3.4.3.1.3 Cava de laterita desativada em Descoberto

Nas vizinhanças do povoado de Descoberto, foi visitada uma antiga cava de material granular laterítico, com espessura máxima de dois metros, apoiado sobre substrato rochoso arenítico (**Foto 3.39**). As paredes da cava mostram que o perfil do terreno é heterogêneo, com mudanças bruscas de material, o que deve ter contribuído para o abandono do local, de difícil exploração.



**Foto 3.39: Antiga cava desativada, perto do povoado de Descoberto. As paredes mostram a grande heterogeneidade do perfil do terreno, que deve ter contribuído para o abandono do local (Coord. UTM N 9.535.076 E 296.018).**

#### 3.4.3.1.4 Cava de laterita desativada em Carnaubal (cava da antena)

A cerca de três km de distância da cidade de Carnaubal, foi inspecionada uma área, no alto de uma elevação (perto de uma antena de retransmissão), de onde foi retirado um grande volume de material granular laterítico, com grande incidência de concreções limoníticas (**Fotos 3.40 e 3.41**). A ocorrência aparenta ter sido exaurida.



**Foto 3.40: Cava abandonada próximo a Carnaubal, em solo laterítico concrecionado (Coord. UTM N 9.537.884 E 288.207).**



**Foto 3.41: Detalhe da foto anterior. Notar a densidade de nódulos lateríticos, imersos em uma massa de areia fina.**

#### 3.4.3.1.5 Cava ativa de areia e laterita entre Carnaubal e Inhuçu

À margem da rodovia asfaltada que liga Carnaubal e Inhuçu, ocorre uma grande cava, de onde se extraem laterita (material concrecionado) e areia fina, homogênea, laterítica.

No perfil do terreno, as concreções lateríticas ocupam o topo da ocorrência, com espessura de até três a quatro metros. Em seguida, encontra-se um horizonte de areia fina, homogênea, de coloração avermelhada/acastanhada, resultante da desintegração “in situ” de arenito da formação Serra Grande.

Ambos os materiais são extraídos e aproveitados no revestimento de rodovias locais.



**Foto 3.42: Cava de areia em exploração, à margem da rodovia que liga Carnaubal a Inhuçu. A espessura da areia (não coesiva) alcança cinco a seis metros e é capeada por horizonte de solo laterítico concrecionado ( Coord. UTM N 9.543.135 E 287.362).**

#### 3.4.3.2. Resultados de ensaios de amostras de ocorrências de solos

Na cava do Distrito de Santa Tereza coletou-se uma amostra do solo granular laterítico (amostra1) e outra do solo arenoso (amostra 2) que ocorre em horizonte inferior ao primeiro. Na cava em exploração visitada na margem da rodovia que liga Carnaubal a Inhuçu, coletou-se uma amostra de solo arenoso (amostra 3) que vem sendo empregado em pavimentação rodoviária. Em cada uma dessas amostras foram realizados ensaios de granulometria por peneiramento e limites de plasticidade e liquidez, cujos resultados podem ser observados no quadro a seguir.

**Quadro 3.6: Resultados de ensaios de amostras de ocorrências de solos**

AMOSTRA	granulometria						Índices físicos			class. uNIF.
	1"	3/8"	nº4	nº10	nº40	nº200	LL	LP	IP	
1 A	100	77,4	55,6	37,3	27,7	14,3	NL	NP	-	GM
1 B	100	77,8	55,8	36,9	27,8	13,5	NL	NP	-	GM
2 A	100	100	99,8	97,6	85,6	33,5	34,7	25,4	9,3	SC-SM
2 B	100	100	99,6	97,2	84,2	31,3	32,2	22,9	9,3	SC-SM
3 A	100	99,7	98,5	97,1	87,1	32,9	33,1	23,3	9,8	SC-SM
3 B	100	99,6	98,2	96,6	85,7	30,6	30,2	21,3	8,9	SC-SM

#### 3.4.3.3. Considerações do reconhecimento geotécnico relativo aos barramentos

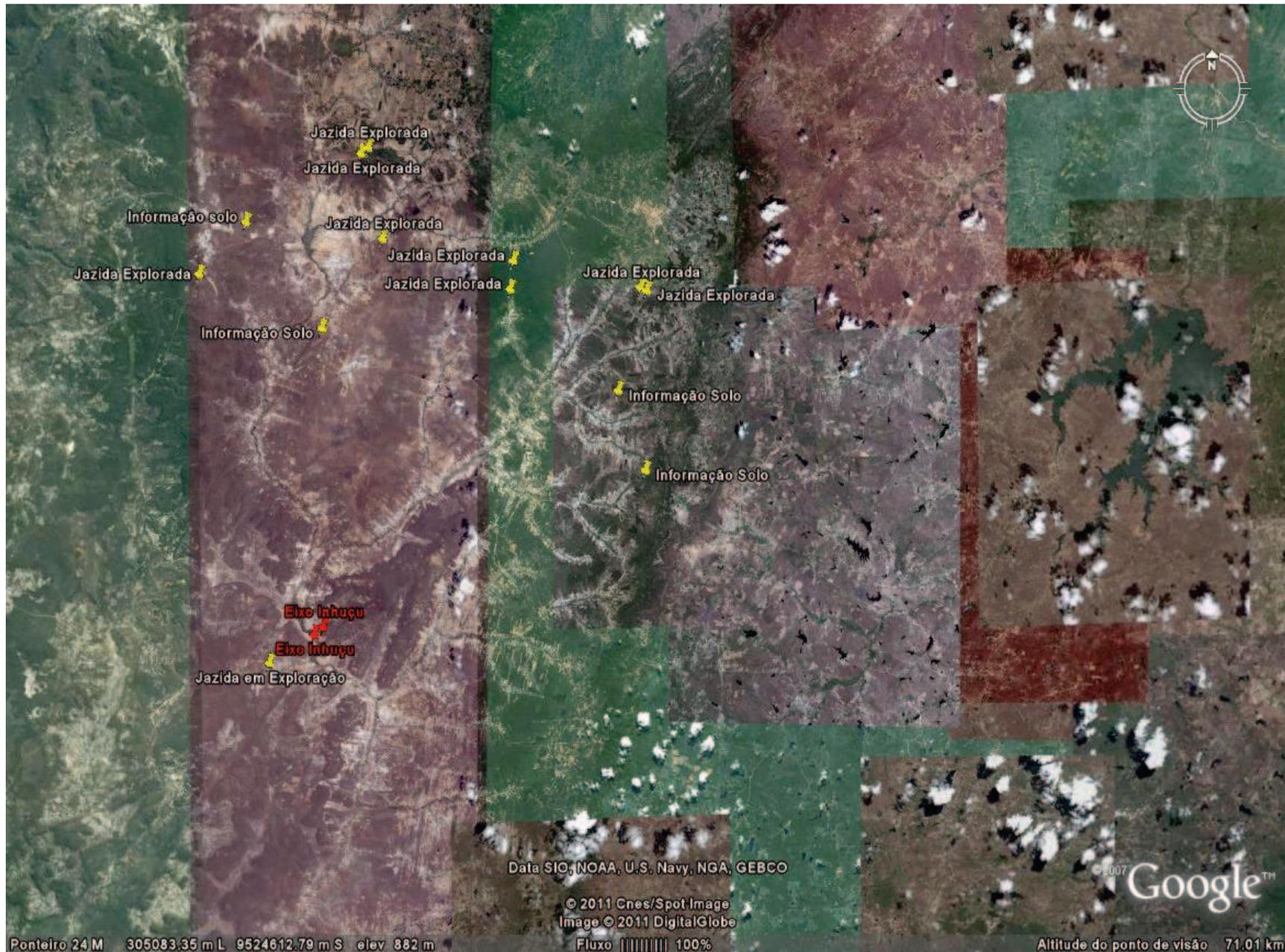
As dificuldades na identificação de ocorrências de solos coesivos, que sejam adequados à construção dos aterros das barragens, induzem a cogitar-se em soluções alternativas. Uma das possíveis soluções consiste em converter as seções das barragens de homogêneas para mistas, de modo a reduzir a necessidade de solos coesivos, que se restringiriam ao núcleo das seções, este ladeado por espaldares de enrocamento, de mais fácil obtenção.

É recomendável que o raio de busca de materiais terrosos seja ampliado, procurando-se estender as investigações para os altos topográficos regionais, onde, aparentemente, ocorrem os horizontes mais espessos de solos colúvio-residuais. Na **Figura 3.11** estão assinalados os locais das ocorrências de solos visitadas e os que foram indicadas pela empresa envolvida na construção do pavimento da rodovia entre Carnaubal e Pedro II. Observa-se a grande distancia dessas ocorrências para o local das barragens (cerca de 20-25 km para o eixo Inhuçu).

Quando silicificado por soluções secundárias, o arenito Serra Grande apresenta níveis de resistência mecânica muito elevados, que o qualificam para qualquer tipo de emprego em construção civil, inclusive como agregado para concreto. É recomendável que se procure identificar essas ocorrências, em paredes de altura e continuidade lateral suficientes para justificar a exploração comercial.

Na barragem Jaburú, situada na Serra da Ibiapaba, a noroeste do sítio das obras aqui tratadas, foram usados com sucesso arenitos consolidados para enrocamentos do rip-rap e do dreno de pé.

É também recomendável que sejam realizados estudos quanto a potencialidade de geração de reações alcalis-agregado, para que a rocha arenítica seja indicada para agregado dos concretos. Na literatura são relatados alguns casos de surgimento de expansão e fissuramento em concretos com agregados de arenito.



**Figura 3.11**  
**Localização das Ocorrências**  
**de solos Identificadas**

#### 3.4.3.4. Geotecnia Relativa aos Locais do Circuito Túnel/PCH

Um dos principais objetivos pretendidos com os trabalhos de investigação e ensaios a definir em fase mais avançada do projeto, será o de efetuar o zoneamento geotécnico do maciço interessado pela abertura do túnel.

Zonear o maciço significa dividi-lo em elementos de volume para os quais determinadas propriedades se mantêm dentro de certos intervalos com significado para o projeto da obra. Na realidade, este zoneamento é o ponto de partida para a tipificação do método de escavação, do dimensionamento dos suportes, bem como da definição do programa de auscultação e de acompanhamento da obra.

Em suma, permite elaborar uma metodologia de construção, pré-dimensionar o suporte e estimar custos de obra com maior precisão.

A partir das observações realizadas *in loco* pelos técnicos do Consórcio e da informação existente em estudos anteriores, referem-se as seguintes questões de interesse:

- O túnel atravessará um maciço sedimentar, em geral compacto, com planos de estratificação sub-horizontais, levemente inclinados na direção Oeste.
- Mesmo que os estratos com inclinação muito reduzida ( $>5^\circ$  W), o grande comprimento do túnel, com inclinação na direção Leste de 0.5%, faz com que atravesse vários tipos de terreno com provável presença de água escoando pelas discontinuidades, particularmente através dos planos de estratificação.
- O maciço de melhor qualidade poderá ser o arenito compacto, cimentado, pouco fraturado (zona geotécnica 1, ZG1)
- O maciço de pior qualidade corresponderá provavelmente ao arenito friável com água (ZG3)
- Os terrenos intermédios entre estes tipos extremos serão considerados como ZG2.
- A secção de escavação, uma vez definida de acordo com as necessidades hidráulicas, será condicionada pelo método utilizado para escavar a galeria e pela mesma estrutura de maciço. Si se utiliza o método convencional (também conhecido como NATM) o controlo estrutural da geometria bem como alguma sobrecavação poderão vir a verificar-se. O método totalmente mecanizado, utilizando uma máquina tuneleira TBM, permitirá obter uma secção cilíndrica de contorno muito suave e bem definido.

A partir da cuidadosa observação dos testemunhos das sondagens, e tendo o cuidado de recorrer a parâmetros facilmente quantificáveis durante a obra na frente de escavação, poderão se adotar os seguintes parâmetros para servirem de base ao zoneamento geotécnico:

- Litologia;
- Graus de alteração e fraturação (segundo SIMR);
- RMR (Rock Mass Rating, Bieniawski 1989);
- Água subterrânea.

## 4 - PLANEJAMENTO DOS ESTUDOS BÁSICOS

## 4. PLANEJAMENTO DOS ESTUDOS BÁSICOS

### 4.1. LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS

Para as etapas seguintes planejou-se a realização de levantamentos topográficos do eixo selecionado para as barragens, canal, túnel, penstock e PCH, em conformidade com as prescrições estabelecidas no Termo de Referência.

#### 4.1.1. Mapeamento planialtimétrico baseado em imagens de satélite

Tendo em vista que a cartografia existente da área consiste em plantas planialtimétricas na escala 1:100.000, elaboradas pela Diretoria do Serviço Geográfico/Sudene, e que não apresentam precisão adequada para os estudos de viabilidade previstos na Fase A, o Consórcio Engesoft/IBI contratou, com a empresa Threetek Soluções em Geomática Ltda, a elaboração de mapeamento planialtimétrico na escala 1:25.000, com curvas de nível a cada 5 m, com uso de imagens coletadas pelo satélite GeoEye-1.

#### 4.1.2. Levantamento Aerofotogramétrico

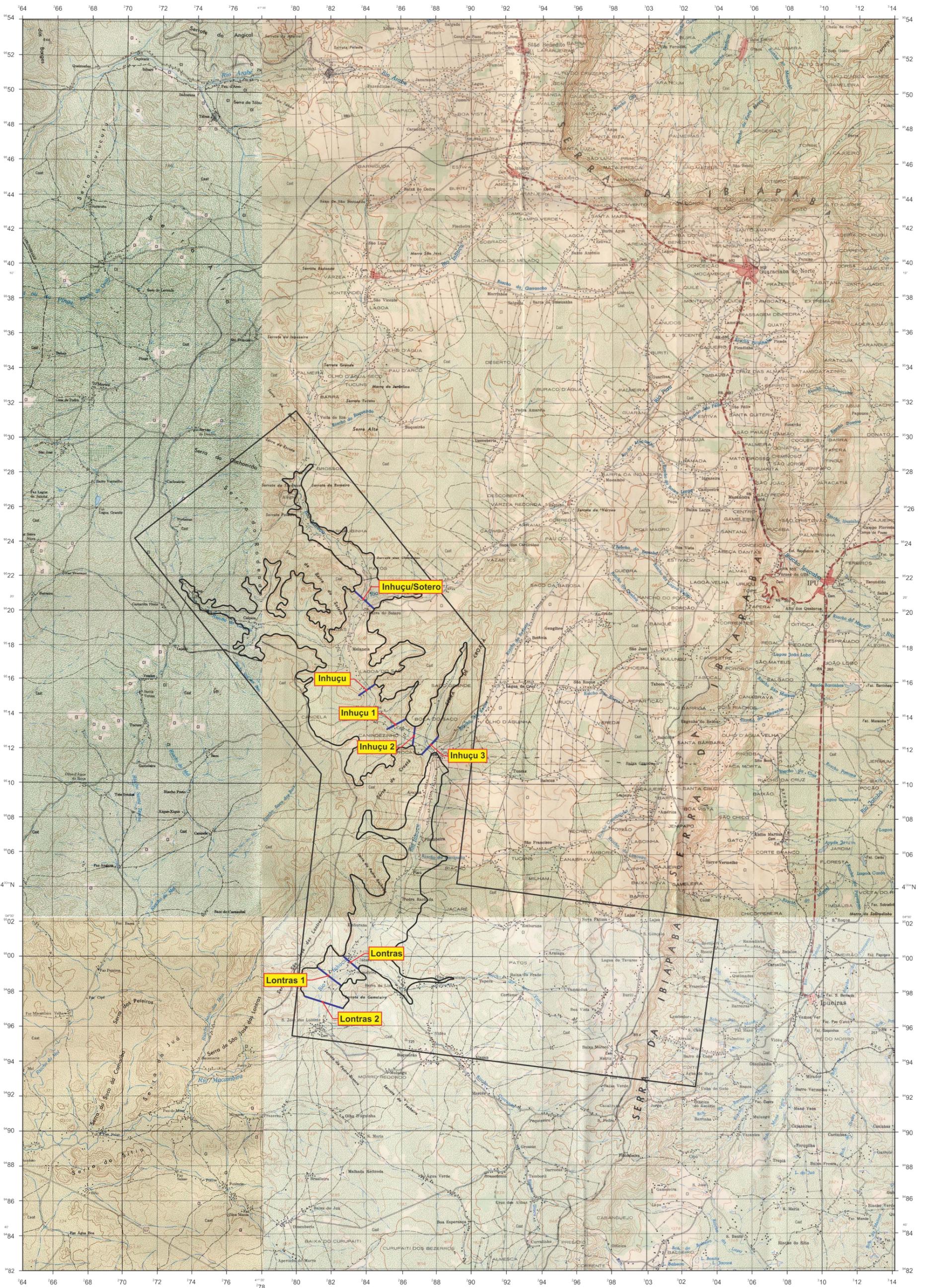
Com base no conjunto de obras a serem projetadas, nas opções de localização dos eixos das estruturas e nas cotas dos reservatórios e posição do Canal/Túnel/PCH, estabelecidas durante o Estudo de Viabilidade realizado pela Montgomery Watson/Engesoft, delimitou-se uma superfície para a realização da cobertura aerofotogramétrica, adequada as faixas possíveis de serem realizadas pela aeronave.

A **Figura 4.1** apresenta a poligonal limitante do aerolevantamento, sobre uma base de imagens obtidas no Google Earth, que perfaz uma área de cerca de 450 km<sup>2</sup>.

A seguir é descrita detalhadamente a metodologia a ser utilizada nesse levantamento aerofotogramétrico, visando a obtenção de cartas e ortofotos na escala 1:5.000, com curvas a cada metro.

##### 4.1.2.1. Metodologia de Execução

A metodologia de execução atenderá, onde couber, às especificações seguindo uma padronização dos procedimentos para cada etapa do mapeamento, dentre as quais se utilizam as seguintes normas:

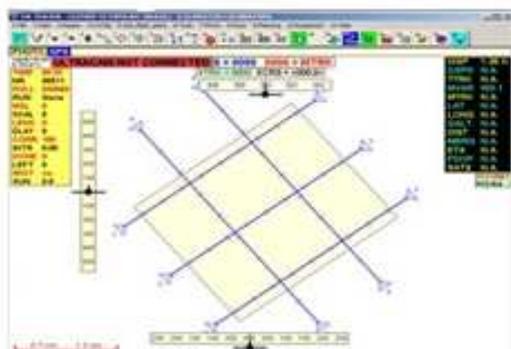


**Figura 4.1**  
**Poligonal Limitante do**  
**Aerolevantamento**

- Para os trabalhos de topografia será observada a NBR 13.133. Esta Norma fixa as condições exigíveis para a execução de levantamento topográfico;
- Para levantamento geodésicos será empregada a Resolução nº 22 - Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos em Território Brasileiro (21/julho/83) publicado pelo Boletim de Serviço do IBGE;
- Especificamente para os trabalhos de aerofotogrametria observar-se-ão as normas publicadas pela Divisão de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, no que couber e complementarmente serão consultados os padrões de precisão de acordo com American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) e usado por U.S. Army Corps of Engineers (USACE), para levantamentos de grandes escalas (maior que 1:20.000), de 31/07/2002;
- Do ponto de vista da legislação pertinente a atividades de aerolevanteamento em território nacional, serão seguidos rigorosamente os procedimentos necessários para obtenção de licença de aerolevanteamento junto ao Ministério da Defesa;
- Referente às precisões dos produtos finais, será atendido ao disposto no Decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984 que estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

### **Cobertura Aerofotogramétrica**

O recobrimento aerofotogramétrico será planejado e executado utilizando-se o software POSTracker, que dispõe de módulos para confecção dos planos de vôo gráfico e analítico e também é o sistema de gerenciamento de vôo utilizado a bordo da aeronave.



A TOPOCART dispõe de cinco aeronaves, com diferentes sensores para realização de seus vôos de recobrimento, conforme pode ser observado abaixo:



Para a realização das coberturas aéreas, as aeronaves são especialmente adaptadas, equipadas com piloto automático, rastreador de satélites do sistema NAVSTAR - GPS, radar para navegação e com autonomia de 4 horas de vôo.

### **Descrição da Metodologia de Execução da Cobertura Aerofotogramétrica**

Para a execução da cobertura aerofotogramétrica a TOPOCART disponibilizará do que há de mais moderno em termos de mapeamento por aerofotogrametria, contando com uma aeronave especialmente preparada com equipamentos de alta sensibilidade para aquisição de dados de posicionamento precisos no momento de tomada das imagens (fotografias).

O sensor para aquisição das imagens será uma câmera aérea digital de grande formato, de fabricação da Vexcel Microsoft, modelo UltraCam-Xp ou UltraCam-X. Estas câmeras possuem característica de tomada da imagem em quadro, semelhante à câmera aerofotogramétrica analógica. Estas câmeras possuem pixel de resolução de 6 micrômetro, o que permite captar imagens aéreas com resolução real de até 3 cm.

Os sensores captam as imagens em 5 bandas (PAN, R, G, B e NIR) em 16 bits o que permite processar as imagens em preto&branco, colorido e infra-vermelho.

Para levantamento com imagens métricas, as câmeras aéreas UltraCam são montadas sobre uma plataforma giro-estabilizada, de fabricação Somag Ag Jena modelo GSM-3000, o que permite compensar as oscilações da aeronave durante o vôo fotogramétrico. Além disso, esta plataforma corrige a deriva ocasionada por possíveis ventos laterais a partir de informações do IMU, garantindo uma melhor verticalidade e geometria das faixas de vôo. Os dados de giros da plataforma são transmitidos para gravação em base de dados do vôo, para serem posteriormente utilizados no processamento para obtenção dos elementos de orientação exterior obtidos diretamente nessa fase.

O sistema IMU (Unidade de Medição Inercial), de fabricação da Applanix - modelo AV510 além de repassar informações para a plataforma, adquire e grava durante o vôo os ângulos de giros residuais não absorvidos pela plataforma, processados por um sistema triplo de giroscópios. Este sistema também possui um receptor GNSS geodésico de dupla frequência L1/L2 que grava os sinais da constelação de satélites a partir de dados coletados pela antena aeronáutica e que permite uma precisão final, pós processada, de 5 a 30 cm no posicionamento do centro perspectivo das fotos.



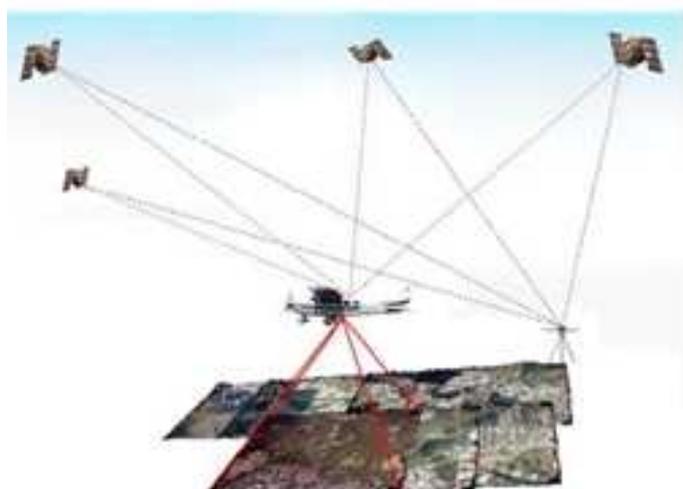
#### Unidade de Medição Inercial IMU/GPS POS AV

As câmeras aéreas UltraCam também estão equipadaa com a última versão do FMS (Flight Management System) ou Sistema de Gerenciamento do Vôo Fotogramétrico, denominado X-Track ou POSTrack que assiste a tripulação em todas as tarefas durante a execução da cobertura aérea. Este sistema possibilita o planejamento da missão fotogramétrica, definindo as coordenadas de disparo de cada foto, garantindo o recobrimento longitudinal e lateral planejados. Também permite a visualização do vôo simultaneamente pelo piloto (touchscreen) e pelo operador (laptop) possibilitando a seleção das faixas de vôo e definição

da melhor manobra para cada entrada e saída de faixa. Além disso, o sistema monitora os parâmetros necessários à boa qualidade do voo, tais como: visualização em tempo real da qualidade das imagens digitais, ajustes de contraste e brilho, presença de nuvens, qualidade e continuidade dos dados GPS/IMU e funcionamento da plataforma. Além disso, a Topocart utiliza como diferencial a execução do voo integrado por sensores (ISO - Integrated Sensor Orientation) ou comumente denominado “voo apoiado”.



Sistema de Gerenciamento de voo POSTrack



### **Metodologia para execução da cobertura aerofotogramétrica**

Assim sendo, o sistema estará conectado a um receptor GNSS geodésico de dupla frequência L1/L2, com uma antena aeronáutica devidamente instalada na vertical do eixo ótico das mesmas, a fim de obter as coordenadas precisas do centro perspectivo (CP) das fotografias. Uma unidade inercial de medição (IMU - Inertial Measurement Unit) também será disponibilizada para gravação contínua dos ângulos de inclinações da câmera.

Para execução do voo apoiado basta instalar o receptor GNSS L1/L2 em solo durante o voo, possibilitando calcular essas coordenadas após o voo pelo processo GPS através da técnica de posicionamento relativo, como mostrado na figura ao lado. Outra opção é a aplicação da solução de Posicionamento por Ponto Preciso - PPP, a qual descarta a utilização de bases em solo, sendo utilizada a técnica de posicionamento absoluto na determinação precisa de coordenadas dos pontos utilizando dados de efemérides precisas e dados de correção dos relógios dos satélites.

### ***Especificações do Recobrimento Aerofotogramétrico***

O plano de voo será elaborado de modo a atender as especificações técnicas, abrangendo toda a área de interesse. As fotografias aéreas serão tomadas em dias claros, sem nuvens e durante a execução do recobrimento aéreo serão observados todos os critérios necessários para a sua realização, tais como:

- Recobrimento lateral de 30% e longitudinal de 60%, nunca ultrapassando 5% de erro;
- O ângulo de rotação horizontal (deriva) entre exposições consecutivas, deverá ser mantido o menor possível, sendo admitida como tolerância a média de 2° por faixa, em casos isolados pode-se chegar a 5%;
- Correção do desvio de rumo, de maneira a não ultrapassar 2° (dois graus sexagesimais), como discrepância máxima entre duas fotografias;
- A altitude média de voo não variando mais que 10%;
- Tomada de fotografias aéreas com o Sol a aproximadamente 25° (vinte e cinco graus sexagesimais) da linha do horizonte, para regiões planas e 35° (trinta e cinco graus sexagesimais) para regiões montanhosas.

### ***Processamento dos dados da Cobertura Aérea e Tratamento Final das Fotos Aéreas***

Após a execução do voo a unidade de armazenamento das imagens na câmera, assim como o PC Card da unidade POSAV Applanix serão transportados para o escritório sede da TOPOCART, em Brasília, para o download dos dados obtidos.

O processamento das imagens inclui a fusão das imagens brutas de cada foto em uma única foto pancromática - PAN, colorida - RGB e infravermelha - NIR, além de ajuste da radiometria, equalização e níveis de contraste a fim de se obter o melhor histograma para cada imagem.



Os dados gravados no PC Card durante o vôo são extraídos e o processamento será feito no software POSPAC MMS 5.2, que possui uma solução integrada GPS/IMU. Usando poderosos algoritmos como solução GNSS e filtro de Kalman ao final do processo são obtidos os elementos de orientação exterior X, Y, Z dos centros perspectivos e os ângulos  $\omega$ ,  $\phi$  e  $\kappa$  para cada imagem, com alta precisão.

Com esse processo a quantidade de pontos de apoio suplementar ou fotogramétrico necessários para a aerotriangulação diminui muito, uma vez que os dados precisos de posição do centro de perspectiva da câmera juntamente com os dados de rotação do IMU possibilitam precisão adequada com um número mínimo de pontos de apoio.

### **Confecção da Imagem Contínua e das Fotos Aéreas**

Para a confecção da imagem contínua de toda a área coberta serão utilizadas as coordenadas do centro perspectivo de cada foto para o georeferenciamento das imagens e formação de um mosaico, de modo a possibilitar a verificação da totalidade da cobertura aérea.

Posteriormente, a esse mosaico são inseridas as informações necessárias para facilitar a interpretação da imagem, tais como:

- Enquadramento geográfico e malha de coordenadas;

- Escala aproximada, período da cobertura aerofotogramétrica, nome do projeto, nome do cliente e executante, demais informações necessárias;
- Indicação das principais toponímias como vias de acesso, rios, acidentes naturais, sedes de municípios e principais localidades;
- Mapa de localização da área a ser mapeada.

### **Apoio Básico**

O apoio básico tem como objetivo escolher as melhores alternativas referentes à utilização de pontos Planimétricos e Altimétricos, que compõem a Rede Geodésica de Primeira Ordem do IBGE como também a implantação de pontos adicionais ao longo da área. Estes pontos implantados em conjunto aos escolhidos da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo - RBMC do IBGE irão compor a Rede de Apoio Básico.

A referida rede será definitiva e poderá servir de referência cartográfica para todo e qualquer levantamento topográfico executado posteriormente, além de ser utilizada futuramente para o transporte de coordenadas geodésicas para os pontos de apoio suplementar.

#### *Sistema Geodésico a Ser Empregado*

Os pontos da Rede de Apoio Geodésico apresentarão coordenadas planialtimétricas 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. Já o referencial planimétrico adotado para o cálculo da referida rede poderá ser o SIRGAS2000 ou o SAD69.

Abaixo estão dispostas as características dos Sistemas Geodésicos de Referência nos quais poderão ser determinadas as coordenadas da Rede de Apoio. As características apresentadas foram definidas segundo IBGE:

- Nomenclatura oficial:
  - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
- 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)
    - Semi-eixo maior  $a = 6.378.137\text{m}$
    - Achatamento  $f = 1/298.257224$
- Origem:
  - Centro de massa da Terra (Geocêntrico)
- Orientação:
  - Pólos 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.

#### SAD69

- Nomenclatura oficial:
  - South American Datum 1969
- Figura geométrica para a Terra:
  - Elipsóide Internacional de 1967 (UGGI 67)
    - Semi-eixo 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:
        - $\varphi_G$  = Latitude Geodésica
        - $\varphi_A$  = Latitude Astronômica
        - $\lambda_G$  = Longitude Geodésica
        - $\lambda_A$  = Longitude Astronômica
        - $A_G$  = Azimute Geodésico
        - $N$  = Ondulação Geoidal

Conforme mencionado o referencial altimétrico utilizado coincide com a superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra que contém o Nível Médio do Mar definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de Imbituba, no litoral do Estado de Santa Catarina, de 1949 a 1957.

### Monumentação

Os vértices serão monumentados por marcos de concreto armado (traço 2:3:4), na forma tronco piramidal com as dimensões que serão definidas pelo cliente antes de serem iniciadas

as atividades de apoio de campo. No topo do marco será cravada uma chapa metálica de 2,5 cm de raio com as inscrições: Cliente, nº do Marco, ano de implantação e a gravação “Protegido por Lei”.

Na escolha de posicionamento dos marcos serão observados alguns critérios que irão facilitar o trabalho e garantir as precisões requeridas, quais sejam:

- 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 GPS.



Exemplos de Marcos e Operação de Campo

Os marcos serão distribuídos em toda a área coberta pelo vôo, compondo o apoio planialtimétrico básico necessário aos levantamentos posteriores.

A densidade de pontos implantados deverá ser aquela necessária e suficiente para cobrir toda a área de interesse, considerando-se vetores de rastreamento dos vértices do apoio básico aos HV's (pontos de controle Vertical e Horizontal) ou para os pontos de apoio suplementar - GCP's (Ground Control Points), com tempo de rastreamento não inferior a 60 minutos, garantindo assim a precisão planialtimétrica para a escala de cobertura aérea em questão.

Além de apoiar o levantamento aerofotogramétrico, esses marcos também servirão como referência para todos os demais trabalhos topográficos que virão a ser executados nas fases posteriores dos estudos e projetos.

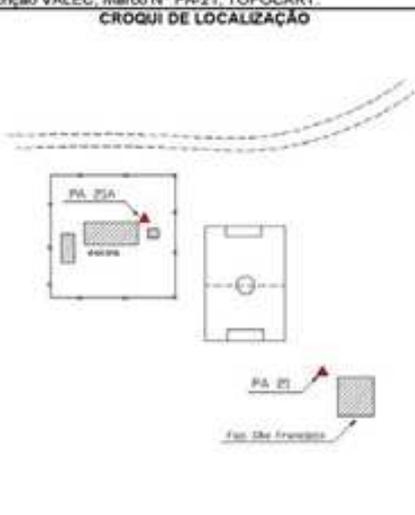
#### *Levantamento Planialtimétrico*

O levantamento planialtimétrico consiste no transporte de coordenadas geodésicas (latitude, longitude e altitude) para os pontos de apoio básico, a partir de vértices fornecidos pelo cliente ou vértices oficiais do IBGE.

Todos os vértices da rede de apoio básico implantados serão ocupados por GPS geodésico, de dupla frequência L1/L2 ou de uma frequência L1, conforme o caso, no modo estático (fase

da portadora), com tempo de rastreio mínimo para resolução das equações de ambigüidades, fixação das pseudo-distâncias e cálculo das coordenadas geodésicas desses pontos.

Nessa fase todo o cuidado será dispensado na distribuição dos GPS de forma a possibilitar formação de polígonos de rastreio com uma geometria mais adequada para o posterior ajustamento. Para isso a TOPOCART dispõem de 15 GPS geodésicos de dupla e de uma frequência que poderão ser convenientemente empregados, inclusive em mais de uma frente de trabalho.

MONOGRAFIA DE VÉRTICES UTILIZADOS	
<p>Cliente: VALEC Construções e Ferrovia S/A</p> <p>Objeto: Apoio Fotogramétrico Ferrovia Norte-Sul</p> <p>Estado: Tocantins</p> <p>Local: Lado esquerdo da única casa na Fazenda São Francisco</p>	<p>Posto: PA-21</p> <p>Data: Agosto/2005</p> <p>Município: Rio dos Bois</p> <p>SISTEMA: SAD-69</p>
<p>DESCRIÇÃO: Marco de concreto, de forma tronco piramidal, medindo 0,15x0,25x0,40m, sobressaindo 5cm do solo, tendo em seu topo cravado, uma chapa metálica com a inscrição VALEC, Marco N° PA-21, TOPOCART.</p>	
<p><b>FOTOS</b></p> <p><b>VÉRTICE IMPLANTADO</b></p>  <p><b>VÉRTICE INTERVISÍVEL</b></p> 	<p><b>CROQUI DE LOCALIZAÇÃO</b></p> 
<p><b>LOCALIZAÇÃO</b></p> <p>Partindo com 0,0km da cabeceira norte da ponte sobre o Rio dos Bois, município de Rio dos Bois, sentido Belém, pela BR-153, com 2,9km vira-se a direita na placa indicativa do Km 387 em direção à Faz. Timbau. Com 4,1km passa-se por um cemitério, com 7,4km passa-se por uma ponte, com 8,0km passa-se sob uma A.T, com 14,1km passa-se pela entrada da Faz. Campolina. Com 15,4 km passa-se pela entrada da Faz Timbau à esquerda, com 16,0km passa-se por um mata-burros, com 16,8km passa-se pela entrada de uma faz a direita, com 17,8km e 21,0km passa-se por 2 entradas de fazenda a esquerda, com 23,0km passa-se por uma entrada de fazenda a direita e com 25,9km chega-se a Fazenda São Francisco onde está o PA-21. O marco está localizado do lado esquerdo da única casa existente no local e o PA-21A está situado no lado direito da escola Duque de Caxias II.</p>	<p><b>COORDENADAS</b></p> <p>Latitude: -0° 18' 55,2753 S                  Longitude: -48° 22' 33,7634 WGr                  N = 8 969 210,317                  E = 788 252,375                  H = 189,320</p> <p><b>VÉRTICE INTERVISÍVEL = PA-19A</b></p> <p>Latitude: -0° 18' 58,2780 S                  Longitude: -48° 22' 33,3027 WGr                  N = 8 969 117,905                  E = 788 265,756                  H = 190,000</p> <p>Origem Planimétrica: PA-14, Miranorte e Bento.                  RN de origem: RN 683T, RN 919A, RN684B.                  Datum Horizontal: SAD-69                  Meridiano Central: 51° WGr                  Datum Vertical: Imituba-SC                  Classe de Nivelamento: GPS</p>
	

Exemplo de monografia de um vértice implantado pela TOPOCART

### *Processamento e Ajustamento da Rede do Apoio Básico*

As coordenadas geodésicas finais serão transformadas para o sistema UTM tendo como referência o datum SIRGAS 2000 ou SAD-69. Todas as redes fecharão com precisão relativa superior a 1:100.000 após o ajustamento final.

Todo vértice implantado terá a descrição incorporada à monografia em formato fornecido pelo cliente ou no padrão TOPOCART.

A seguir é possível visualizar um modelo de monografia elaborada no padrão TOPOCART.

### **Apoio Suplementar e Aerotriangulação**

A aerotriangulação é uma técnica fotogramétrica para a determinação de coordenadas de pontos, num referencial específico. Tem como objetivo a obtenção de coordenadas precisas, planas e altimétricas, para os pontos necessários à orientação absoluta dos modelos fotogramétricos, a partir de poucos pontos de controle, levantados em campo. O resultado final é a obtenção indireta dos parâmetros de orientação exterior, ou seja, das coordenadas do centro perspectivo das fotos (X, Y e Z) e dos três ângulos de rotação em torno dos eixos da mesma ( $\omega$ ,  $\varphi$  e  $\kappa$ ). Para isso é necessário o levantamento de pontos em campo identificáveis nas fotos aéreas, denominado apoio suplementar.

Esse método tradicional de orientação dos modelos estereoscópicos será bastante simplificado com a metodologia apresentada nessa proposta, uma vez que, com emprego do IMU/GPS aerotransportado serão obtidas diretamente as coordenadas do centro perspectivo das fotos (X, Y e Z) e os ângulos de rotações nos eixos fotogramétricos x ( $\omega$ ), y ( $\varphi$ ) e z ( $\kappa$ ).

Esses valores serão utilizados como parâmetros de entrada no processo de aerotriangulação o que possibilitará minimizar os pontos de campo, GCP's e HV's do apoio suplementar.

### *Apoio Fotogramétrico ou Suplementar*

O apoio suplementar destinado à aerotriangulação depende de fatores tais como: escala do vôo, escala de restituição, eqüidistância vertical e precisão de leitura do operador no sistema fotogramétrico utilizado. Em um sistema tradicional de aerotriangulação existem normas para o cálculo do espaçamento dos pontos HV (fotogramétricos), porém com o emprego da tecnologia proposta a quantidade de pontos HV é reduzida a um mínimo necessário, somente para checagem e eliminação de possíveis erros sistemáticos durante o vôo.

Esses pontos devem ser criteriosamente escolhidos e havendo possibilidade poderão ser pré-sinalizados antes do voo com marcas que permitam sua perfeita identificação.

A sinalização dos pontos de apoio suplementar (GCP's) será feita anteriormente ao recobrimento aerofotogramétrico, utilizando-se recursos que possibilitem a sinalização de marcas em solo, em cores contrastantes com o terreno a fim de que sejam, posteriormente, perfeitamente visíveis nas fotos aéreas. Para isso empregam-se materiais, tais como tinta, cal, carvão, óleo, lona plástica, entre outros, dependendo do tipo de terreno, da localização e facilidade de acesso. O tamanho e forma da marca também são definidos em função da escala de voo e do grau de dificuldade na identificação.



Exemplo de pontos pré-sinalizados para um voo

A quantidade e distribuição das marcas de sinalização dependerá, principalmente, da geometria do bloco de voo. Porém fatores relacionados às condições locais e dificuldade de acesso em campo podem contribuir na decisão final, também. Esse planejamento é feito após a conclusão do plano de voo e mediante uma vistoria em campo, para verificação das condições locais e decisão final.

Quando a pré-sinalização não é executada, será necessário o levantamento posterior de pontos que sejam perfeitamente identificados nas fotos aéreas. Para isso emprega-se o estereoscópio para escolha das posições aproximadas dos pontos HV's necessários ao apoio fotogramétrico. Na escolha destes pontos serão levados em consideração fatores como: afastamento de encostas, regiões de Von Grüber, locais acessíveis e pontos bem caracterizados (cruzamento de estradas, quinas de cerca, quinas de muro, manchas de vegetação bem definidas, etc.).

Com as fotografias contendo as posições dos pontos assinalados, as equipes de campo visitam cada um deles, analisando as possibilidades de rastreamento e identificação inequívoca de cada ponto nas fotos. Uma vez definida a localização, deixa-se uma estaca de

madeira para materialização ou marca-se a mesma com tinta para a etapa de levantamento por GPS.

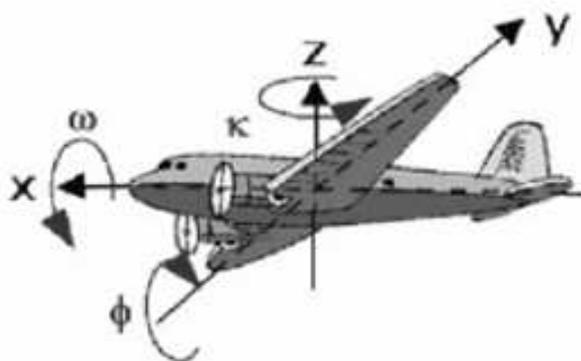
Para auxiliar a identificação dos pontos de apoio quando da leitura dos mesmos nos modelos estereoscópios, elabora-se um croqui elucidativo de maneira a não haver dúvidas na identificação dos mesmos.

O levantamento planialtimétrico consiste no transporte de coordenadas geodésicas (e por conseqüência planas UTM) e de altitudes para os pontos de apoio suplementar. Para isso, os pontos de apoio suplementar serão ocupados por GPS geodésico, com tempo de rastreamento mínimo para resolução das equações de ambigüidades, possibilitando o cálculo das coordenadas geodésicas desses pontos. Assim, estaciona-se um receptor GPS em um dos vértices da rede de apoio básico, e os demais receptores disponíveis nos pontos de apoio fotogramétrico.

O processamento do rastreamento será feito no software Ashtec Solutions. As coordenadas e precisões obtidas nos HV's ou GCP's serão fornecidas em planilhas.

### Aerotriangulação

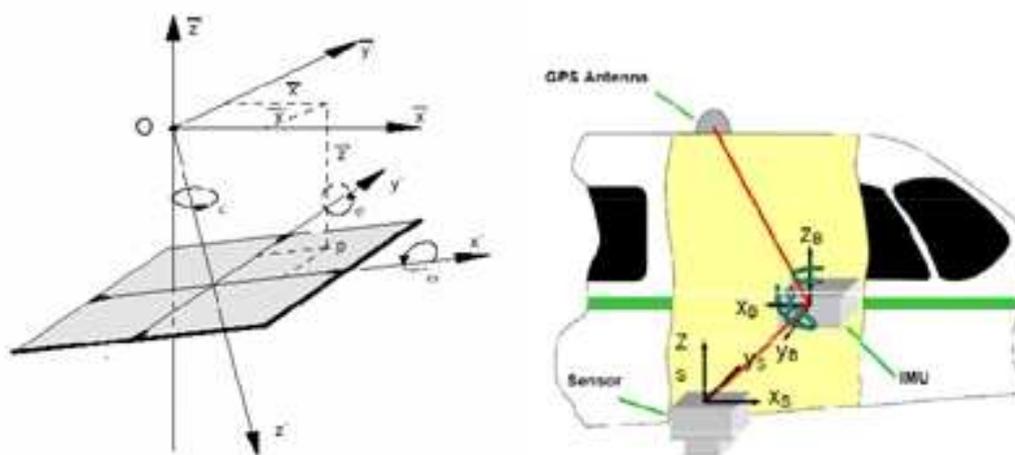
O objetivo da aerotriangulação é calcular os parâmetros de orientação externa das imagens, tendo como resultado as coordenadas X, Y, Z dos centros perspectivos e os ângulos  $\omega$ ,  $\phi$  e  $\kappa$  no momento da tomada das fotos com precisão compatível para a escala final que se deseja.



### Parâmetros de Orientação Exterior

Para o desenvolvimento dessa etapa a TOPOCART utilizará o software Match-AT da empresa Inpho, onde o ajustamento é baseado no método de feixes perspectivos (bundle block) sendo a unidade do processo a imagem.

Além disso, será empregado 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. Vale que o número e distribuição dos pontos suplementares estarão garantindo as precisões esperadas no resultado da aerotriangulação para a elaboração dos produtos cartográficos na escala de mapeamento solicitada.



Elementos necessários à orientação exterior e sua obtenção direta durante o vôo para emprego do Método ISO - Integrated Sensor Orientation na aerotriangulação.

Com a aplicação dessa metodologia haverá uma otimização na obtenção dos resultados em relação aos métodos clássicos comumente utilizados, tendo em vista que as coordenadas dos centros perspectivos das fotos e seus respectivos ângulos serão previamente determinados durante o recobrimento aerofotogramétrico, conforme foi descrito anteriormente.

Ao final do processo, será elaborado o relatório final para interpretação e análise dos dados, comprovando o pleno atendimento das precisões de fechamento da aerotriangulação, conforme segue:

- |   |   |
|---|---|
| 1 – Pontos de apoio (terrestre e aerotriangulação)        | - EMQ (planimetria) $\leq 40 \mu\text{m}$ na escala da foto;<br>- T (planimetria individual) $\leq 80 \mu\text{m}$ na escala da foto;<br>- EMQ (altimetria) $\leq 25 \mu\text{m}$ na escala da foto;<br>- T (altimétrica individual) $\leq 50 \mu\text{m}$ na escala da foto. |
| 2 - Pontos fotogramétricos (pontos de ligação de modelos) | - EMQ (planialtimétrico) $\leq 50 \mu\text{m}$ na escala da foto.   |
| 3 - Desvio padrão do Bloco                                | - DP (Planimetria) $\leq 30 \mu\text{m}$ na escala da foto; - DP  |

(pontos fotogramétricos, centros de projeção e pontos de apoio) (Altimetria)  $\leq 0,2 H$  (km).

Sendo EMQ: erro médio quadrático

DP: desvio padrão

H: altura de vôo sobre o terreno

T: tolerância

Uma vez que o processo de aerotriangulação será executado de forma totalmente digital esses valores de referência poderão ser seguramente atendidos o que garantirá a precisão final do mapeamento para a escala proposta.

Finalmente, os dados de orientação exterior definitivos serão exportados para serem utilizados pelas estações fotogramétricas de restituição para orientação dos modelos estereoscópicos. Nesse momento será feito o controle de qualidade do resultado final do ajustamento, mediante a comparação dos pontos de check levantados em campo, na fase do apoio fotogramétrico, com seus respectivos, lidos diretamente sobre os modelos em 3D com emprego das estações fotogramétricas.

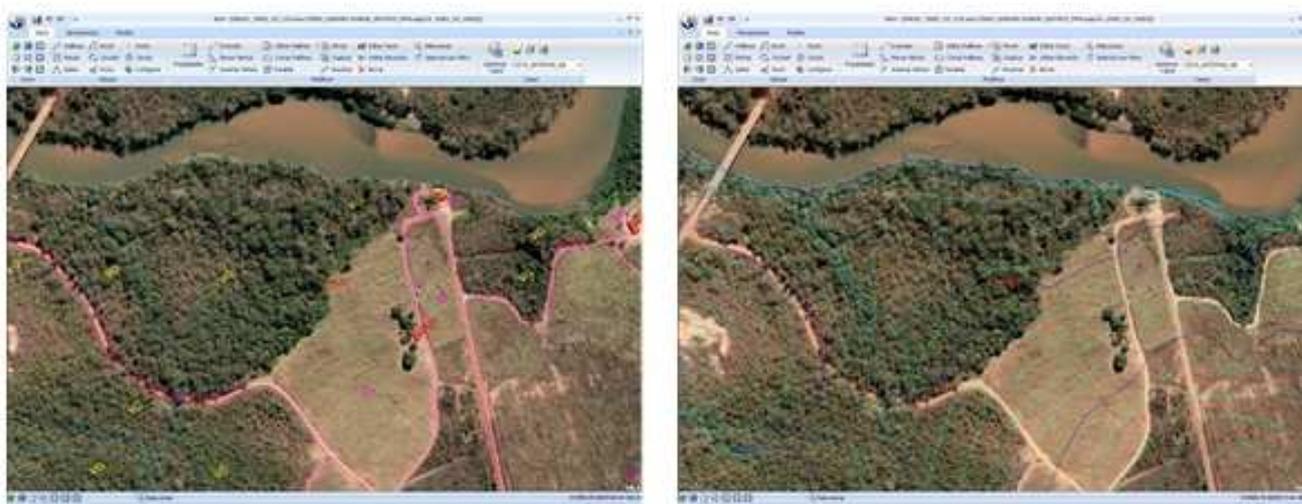
### **Estereorrestituição Digital Planialtimétrica**

A restituição planialtimétrica será 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 ser utilizado o software AU4 desenvolvido pela empresa CARTODATA em parceira com a TOPOCART.

Na etapa de estereorestituição digital o detalhamento dos níveis de informação estará condizente com a escala de mapeamento, onde será assegurada a consolidação de uma base cartográfica confiável e estruturada. Antes do início dos trabalhos, os padrões e temas a serem restituídos serão aprovados junto ao cliente.

Quanto à altimetria, em especial a extração das curvas de nível, serão obtidas através do software AU4 de forma indireta, utilizando o conceito de breaklines (linhas de quebra). Nessa metodologia o operador modela o terreno por meio de linhas planialtimétricas (breaklines) traçadas, inicialmente, nas feições definidoras da morfologia do terreno, tais como: talwegues, divisores de água, espigões, ravinas, lagos, erosões, topos de morros, etc. Por fim, serão acrescentados 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.



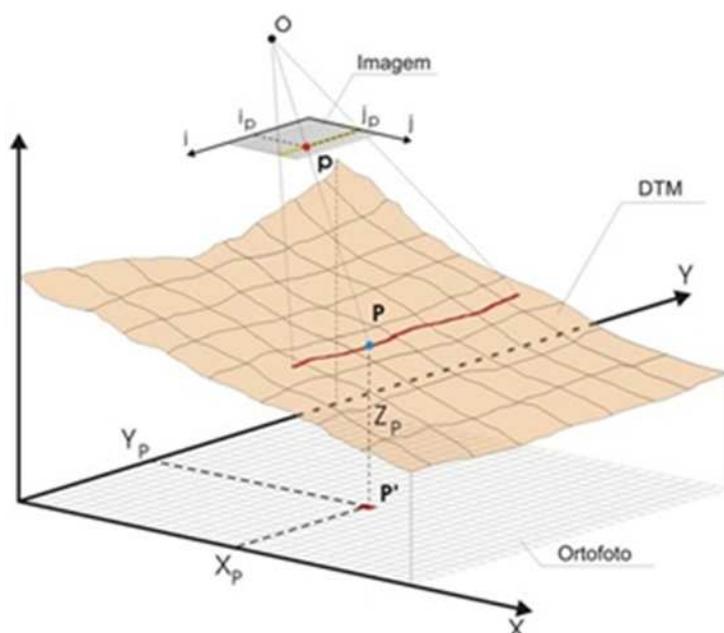
A figura da direita mostra um exemplo de restituição planimétrica utilizando o software AU4 e a da esquerda a representação das curvas de nível da respectiva área.

Posteriormente as curvas de nível serão interpoladas dentro da mesma plataforma com a eqüidistância vertical solicitada pela contratante 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 estereoscopia, 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 serão exportadas nos seus respectivos layers de origem, sendo disponibilizados para as outras etapas do mapeamento.

### Ortofotos Digitais

As ortofotos digitais serão obtidas a partir da correção das distorções presentes nas fotografias aéreas, incluindo o deslocamento devido às variações do relevo, tendo como objetivo reprojeter a cena de uma fotografia que se encontra na projeção cônica, em uma nova imagem, agora em projeção ortogonal.



(Fonte: Adaptado). de ANDRADE -1998)

A figura acima mostra a Ilustração do princípio da ortorretificação

Para o desenvolvimento dessa atividade faz-se necessária a determinação prévia de três fontes de dados essenciais, sendo: imagens, os elementos de orientação exterior das fotografias aéreas (imagens) e o Modelo Digital de Terreno, todas obtidas nas fases anteriores, já descritas. 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.

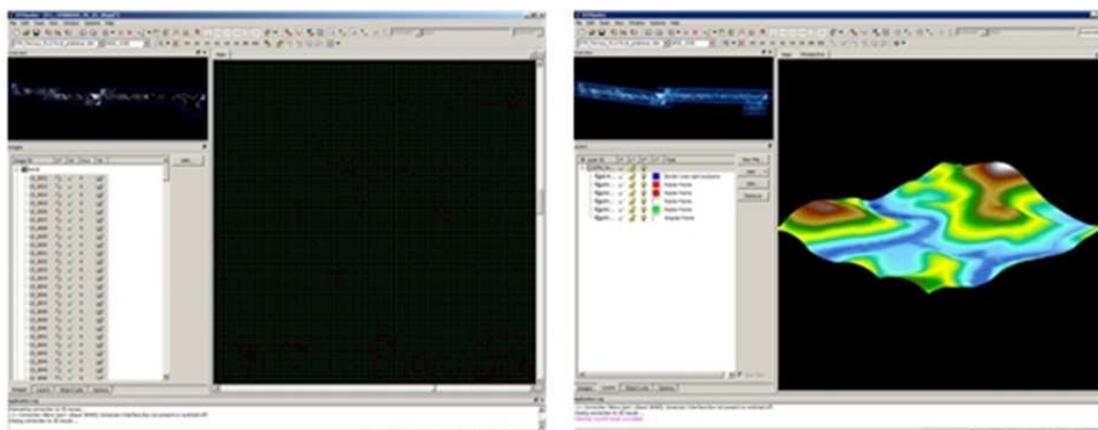
O Modelo Digital de Terreno será gerado através do Match-T, software da Inpho destinado à elaboração de MDT automático por intermédio de algoritmos de correlação. Suas ferramentas possibilitam a determinação de uma malha densa e precisa de pontos, resultando uma modelagem coerente do terreno. Nessa etapa também são introduzidos como argumento para a geração da malha os dados altimétricos provenientes da etapa de restituição, resultando em um MDT híbrido, agregando melhorias significativas no processo.

Após a geração do Modelo Digital de Terreno será utilizado 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 ortorretificação das imagens para a geração das ortofotos digitais será realizada a partir do programa OrthoMaster, sendo utilizados todos os dados descritos anteriormente. Nessa etapa

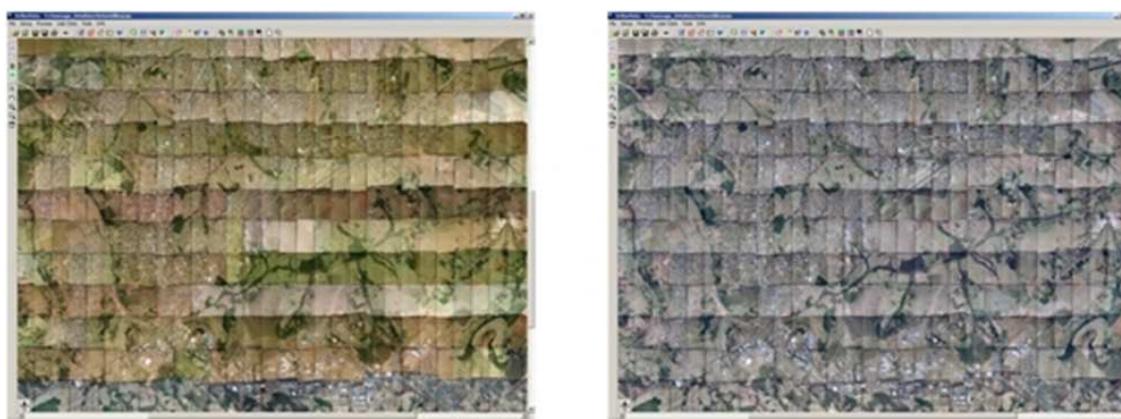
serão observadas e atendidas todas as especificações quanto à precisão, ao formato de entrega e o valor da resolução espacial condizente com a escala final de mapeamento.

Concluída a ortorretificação das imagens, passa-se a etapa de mosaicagem, que por sua vez, resume-se em reunir duas ou mais ortofotos com superposição para criar uma representação contínua de toda a área coberta.



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).

Posteriormente o mosaico é submetido à técnica de realce e balanceamento de cores. O uso do balanceamento de cores aplica-se para a compatibilização da estatística do histograma de todo o bloco, resultando na composição de um mosaico homogêneo, sem diferenças significativas de cores. Ambas as atividades descritas anteriormente serão executadas no software OrthoVista também da empresa Inpho.



Exemplo da potencialidade do software OrthoVista na equalização das imagens na composição do mosaico final. A imagem da esquerda ilustra a diferença de cores das imagens originais e a da direita mostra o resultado obtido após a equalização.

Após a obtenção da ortoimagem contínua de toda a área de projeto, esta é recortada de acordo com a articulação das folhas previamente definidas e seguindo as recomendações do Termo de Referência. O corte das folhas é feito de tal forma a possibilitar a junção futura da ortofoto com as cartas vetoriais que serão editadas a partir dos dados fornecidos na etapa de restituição.

## **Reambulação**

Reambulação é uma fase integrada à edição, mas que se inicia ainda na etapa de campo, quando são coletadas informações que serão inseridas nas cartas topográficas finais. Consiste em identificar as feições registradas de forma a coletar as informações necessárias, possibilitando que as toponímias das entidades sejam atribuídas criando-se um mapeamento consistente.

A etapa de reambulação terá início após a fase de restituição, na edição cartográfica, a partir das folhas de mapeamento já cortadas com base na articulação. Será realizada em campo, com objetivo de identificação de toponímias de acidentes geográficos naturais e artificiais, pontos relevantes existentes na área de mapeamento e dos elementos que a compõem, bem como revisão e esclarecimento de dúvidas assinaladas durante a fase de restituição e pré-edição.

Também serão utilizadas como base para essa atividade consulta aos órgãos locais e regionais buscando informações sobre as características peculiares da área de interesse.

O nível de informação coletada nessa fase será de acordo com a escala de mapeamento e dos objetivos a serem atendidos, em concordância ao Termo de Referência.

Nesta etapa também são retificados eventuais erros de interpretação e omissões, esclarecidos detalhes importantes não mapeados e identificadas eventuais falhas decorrentes de sombras, vegetação ou ângulos mortos da fotografia.

## **Edição Cartográfica**

A Edição Cartográfica será dividida em duas fases distintas: a edição vetorial e a edição das ortofotocartas/plotagem final.

- Edição vetorial

A edição de arquivos provenientes da restituição aerofotogramétrica será dividida em três importantes etapas: pré-edição, edição propriamente dita e revisão. Todo o processo de edição

utilizará como plataforma de trabalho o software AutoCad Map 2009, em estações digitais de trabalho.

– Pré-edição

Consiste basicamente em adaptar o material digital gerado na restituição aerofotogramétrica ao padrão de representação cartográfica recomendado. Os dados provenientes da restituição, após passarem por algumas manipulações, serão reunidos em um único arquivo, denominado “base cartográfica”. Quando confeccionada a base cartográfica serão tomados todos os cuidados para não haver a duplicidade de nenhum dado vetorial no arquivo geral.

Fazendo-se uso de ferramentas especiais do software AutoCad Map 2009 e mais algumas desenvolvidas pela TOPOCART para este fim através de linguagem VB (Visual Basic), serão efetuadas correções na base cartográfica a fim de eliminar as pequenas inconsistências que não foram detectadas na etapa anterior. Também serão padronizados os elementos em seus respectivos layers associando suas características, tais como: cor, traço, espessura, etc.

Concluída todas as verificações necessárias as folhas serão cortadas na articulação padrão, impressas na escala de mapeamento e enviadas a reambulação. Obtidas as informações de campo, juntamente com aquelas coletadas nos Órgãos pesquisados, será feita a confrontação dos dados e validação das informações para posterior inserção nas folhas, obedecendo aos padrões de posicionamento estéticos usuais em cartografia.

– Edição Cartográfica

Nessa fase será finalizada a edição da articulação, que será elaborada em programa próprio para este fim, no qual serão determinados as malhas UTM - SAD ou UTM - SIRGAS, as coordenadas geográficas dos cantos das folhas, o cálculo do valor de “k” e a convergência meridiana. A malha UTM será composta de quadriculados de 10 × 10 cm. Na representação das coordenadas geográficas será utilizado um reticulado externo indicando apenas os pontos de cruzamento (na forma de cruzeta nas extremidades da folha) entre os paralelos e os meridianos, referentes a 1/2 ou 1/3 de lado do enquadramento CIM.

Finalmente, serão empregadas técnicas de edição cartográfica envolvendo pessoal altamente especializado, que tem a função de adequar e checar todas as informações planimétricas e altimétricas.

– Revisão

Consiste na identificação de inconsistências provenientes da edição cartográfica. O revisor efetuará a análise dos dados vetoriais e executará as devidas notificações nas folhas para posterior correção. As folhas, após a análise do revisor, serão encaminhadas para a edição, onde serão efetuadas as devidas correções. Após a primeira correção do material revisado, as plantas parciais são plotadas novamente e sobre estas, verifica-se se as correções da primeira etapa foram efetuadas. O revisor efetua as devidas anotações e as folhas são encaminhadas, novamente, para a equipe de edição. O processo repete-se até que as folhas sejam aprovadas pelo revisor.

– Edição das ortofotocartas e plotagem final

Com as cartas topográficas editadas e as ortoimagens já tratadas e recortadas na respectiva articulação a edição das ortofotocartas consiste simplesmente na inserção da imagem sobre o arquivo vetorial. Em se tratando de uma imagem ortorretificada (GeoTIFF) não há necessidade de fazer qualquer referência para encaixe dos arquivos, pois ambos (arquivos vetorial e imagem) estão exatamente no mesmo sistema e perfeitamente compatíveis em escala e precisão.

Para o caso de edição estruturada para SIG será nesta etapa que serão preparados os dados vetoriais (geração de topologias e continuidade de linhas) e os atributos para ambiente de Sistema de Informações Geográficas.

A plotagem definitiva será feita em Plotter Jato de Tinta Colorido HP Deskjet Z6100 em padrão a ser aprovado previamente. Os produtos finais atenderão às especificações do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), para a escala de apresentação, classe “A”, conforme decreto 89.817 de 20/06/1984

## 4.2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos a serem realizados ao longo dos estudos de viabilidade objetivarão a checagem e definição das vazões para o dimensionamento das barragens das estruturas do sistema adutor, e das obras do sistema de drenagem e proteção do projeto.

Estes estudos serão refinados a partir de base cartográfica mais detalhada que propiciará a correta e definitiva localização dos boqueirões e elaboração de curvas cota x área x volumes precisas e adequadas. Estes dados são fundamentais na determinação do dimensionamento dos reservatórios e estimativas de vazões derivadas do sistema projetado.

Os dados pluviométricos serão tratados, e, selecionadas as estações que possuem as séries de maior duração e melhor qualidade. A partir delas, serão realizados os estudos de chuvas intensas, que a critério da Fiscalização poderá ser feito pela metodologia do Eng. Jaime Taborga Torrico. Essa metodologia permite, a partir da regionalização das relações entre a chuva de 1 dia e a chuva de durações menores, estabelecer o gráfico intensidade x duração para diversos períodos de retorno.

Para as vazões de cheia afluentes as barragens, no caso da inexistência de dados de vazões, poderão ser utilizadas séries sintéticas de vazões de cheias.

As séries serão definidas para os períodos de retorno de 10, 25, 50, 100, 1.000 e 10.000 anos. As séries com menor período de retorno, entre 10 e 100 anos, servirão para o dimensionamento das obras de menor responsabilidade estrutural, tais como drenos, bueiros e pontilhões. Os hidrogramas de período de retorno de 1.000 e 10.000 anos serão utilizados para a verificação do dimensionamento dos sangradouros das barragens e delas próprias.

Para análise de consistência dos dados, a base regional ou simplesmente denominada estação regional, é definida por HIEZ e RANCAN como "uma série cronológica, sintética, de índices pluviométricos ou fluviométricos anuais ou mensais, oriundos da extrapolação por um método de máxima verosimilhança, da informação mais provável, contida nos dados de um conjunto de observações de estações agrupadas por região". Essa série constitui o chamado Vetor Regional.

Nesta etapa se dispõem de séries anuais e mensais já consistidas e compatíveis entre si, porém, incompatíveis, pelo menos nos anos com valores consistidos, com a série histórica diária. Para tais anos processa-se a correção dos valores diários correspondentes aos meses consistidos de maneira semelhante à desagregação descrita a nível mensal: os percentuais de cada um dos dias de um dado mês consistido sobre o correspondente valor histórico mensal são calculados e utilizados para desagregação do valor consistido mensal.

Decorre desse procedimento que as correções efetuadas serão proporcionais à ordem de grandeza da chuva diária, e, conseqüentemente, à distribuição de ocorrência de dias chuvosos no mês é preservada.

O preenchimento de falhas a nível diário constitui ainda um campo aberto a pesquisa, assim, optou-se por não proceder ao preenchimento diário.

A princípio, os hidrogramas afluentes serão bem estimados utilizando-se o modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center, U.S Corps of Engineers), que permite a combinação de diversos métodos sintéticos chuva – deflúvio, entre eles o método do Soil Conservation Service (SCS).

A chuva média em cada sub-bacia será determinada pelos polígonos de Thiessen. ENGESOFT/IBI dispõe, para isso, de programa computacional que, a partir das estações pluviométricas existentes e suas coordenadas e das coordenadas das bacias hidrográficas, automaticamente gera os polígonos de Thiessen e a chuva média diária.

As vazões mensais afluentes aos reservatórios identificados terão um estudo mais cuidadoso. A ausência de dados observados de vazão pode levar à duas abordagens, dependendo dos resultados de cada uma.

Na primeira, pode-se aperfeiçoar a regionalização da vazão média anual elaborada no Plano Estadual dos Recursos Hídricos. A partir da vazão anual, pode-se também regionalizar o coeficiente de variação dos deflúvios anuais ( $C_v$ ) e gerar-se séries sintéticas estocásticas.

Dependendo da extensão dessas séries obtidas, pode ser necessária ainda a geração estocástica de séries de longo período a partir das séries mensais.

Com a maior coleta de informações durante a elaboração do trabalho, a metodologia adequada será escolhida. Dependerá, basicamente, dos objetivos, dos dados disponíveis e do passo de tempo desejado.

De posse das vazões regularizadas para diversas dimensões dos reservatórios, serão combinadas a otimização e a simulação do sistema com parâmetros econômicos para a definição da vazão ideal de transposição e das dimensões ótimas das obras de armazenamento (se for o caso), dos canais e das estações elevatórias. Isso será realizado à medida que as alternativas forem estudadas e selecionadas, e servirá como um dos critérios para a hierarquização dessas alternativas.

### 4.3. ESTUDOS GEOLÓGICOS

Será elaborado um estudo da geologia regional com base nos mapas geológicos existentes e aprofundados pela análise das imagens de satélite, que serão obtidas como descrito no item dos Estudos Topográficos.

Após a seleção dos eixos das obras a serem projetadas, serão elaborados estudos em uma escala que permita detalhar o local dos reservatórios, eixos dos barramentos, do canal, túnel, Penstok e PCH. O referido estudo apoiar-se-á num levantamento de superfície que definirá as principais discontinuidades tectônicas, suas direções, mergulhos e preenchimentos, além de buscar identificar os níveis mais resistentes as solicitações das cargas das estruturas e aos processos erosivos.

Com base na geologia dos locais das obras será elaborado um plano de sondagens objetivando a definição dos parâmetros geológicos intervenientes no projeto.

#### **4.4. ESTUDOS GEOTÉCNICOS**

No que diz respeito a auscultação geotécnica dos eixos selecionados para as barragens, esta deverá consistir-se de sondagens mistas com diâmetro NX ou AX, de modo a garantir uma recuperação superior a 85%. Como dito anteriormente, buscar-se-á que as futuras campanhas de sondagens mecânicas sejam feitas empregando-se equipamentos e técnicas mais sofisticados, capazes de fornecer uma continuidade dos testemunhos que permitam identificar com clareza as características de coerência das sucessivas camadas do substrato rochoso.

Ensaio de perda d'água serão realizados em todos os furos, de forma ascendente, sendo preliminarmente com extensão de 3 metros e, nos trechos de perda acentuada, subdivididos em extensões menores até a identificação do nível relativo as fraturas responsáveis pelo fluxo. Como as observações realizadas até o momento levam a evidencia de grande fluxo pelas fraturas do embasamento rochoso, os ensaios de perda d'água serão realizados de forma a embasar um conhecimento sólido sobre a transmissibilidade hidráulica da fundação, permitindo selecionar uma solução adequada para o problema.

Mesmo tendo sido observados indícios da existência de uma delgada espessura do manto de solo recobrimdo o substrato rochoso, que poderá ser facilmente interceptada por uma trincheira de vedação, serão realizadas campanhas de ensaios de infiltração nesse material, em todo trecho percussivo das sondagens mistas.

Concomitantemente com a análise geológica das imagens de satélite, será realizada uma campanha de investigação preliminar da região lindeira as obras, para identificação de materiais naturais e coleta de amostras, visando o futuro emprego na construção dos maciços das barragens.

Os planos de sondagens geotécnicas, de investigação e ensaios das fontes de materiais construtivos, só serão detalhados após a seleção da alternativa de localização das obras, do tipo de seção a ser adotada nos maciços das barragens, do sistema extravasor e do arranjo das obras.

#### **4.5. ESTUDOS PEDOLÓGICOS**

Os estudos dos solos da área, nesta primeira etapa dos trabalhos, se resumiram ao levantamento e análise dos Estudos de Solos, a nível exploratório, dos municípios da Ibiapaba que se inserem na área que se beneficiará diretamente com a construção das barragens Lontras e Inhuçu.

Após este levantamento foi feita uma viagem ao campo, observando-se os solos das áreas próximas (a jusante e a montante) dos prováveis eixos barráveis em vias de estudos nesta etapa inicial.

Do ponto de vista de classificação dos solos da Ibiapaba, observa-se, a nível exploratório, uma grande predominância de solos arenosos de baixa fertilidade, constituídos, principalmente de Areias Quartzosas. (Ver mapas dos solos dos municípios de Carnaubal, Croatá e Guaraciaba do Norte apresentados no Anexo 12 do Tomo 1B).

Entretanto, ao longo dos cursos d'água barráveis, observa-se a presença de solos aluviais com potencial para futuras explorações irrigadas, utilizando culturas mais nobres, que possibilitem a obtenção de renda pelas famílias que serão retiradas das áreas que serão inundadas pelas águas dos lagos a serem formados pelas barragens Lontras e Inhuçu.

Essas áreas serão, posteriormente, objeto de levantamentos de solos detalhados, com trabalhos de campo, a fim de aquilatar o seu total potencial e as suas possibilidades físicas e químicas.

