



**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 A3 - ESTUDOS BÁSICOS DOS SISTEMAS  
Primeiro Relatório Parcial  
Tomo 1 - Texto**



**Integração**  
Ministério da Integração Nacional



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



**SETEMBRO/2011**



**consórcio**



**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)**

**Etapa A3 – ESTUDOS BÁSICOS DOS SISTEMAS**

**Primeiro Relatório Parcial**

**Tomo 1 – Texto**

**Setembro 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.

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

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

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

O estudo é composto pelas seguintes Fases e Etapas:

– FASE A: ESTUDO DE VIABILIDADE

- Etapa A1 - Relatório de Identificação de Obras - RIO
- Etapa A2 - Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA do Sistema (Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH)
- Etapa A3 - Estudos Básicos e Concepções Gerais dos Projetos das Barragens, Canal/Túnel e Penstock/PCH

- Etapa A4 - Relatório Final de Viabilidade - RFV.
- FASE B: PROJETO EXECUTIVO
  - Etapa B1 - Estudos de Impactos no Meio Ambiente EIA / RIMA
  - Etapa B2 - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento das Barragens Lontras e Inhuçu, 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 faz parte da Etapa A3 – Estudos Básicos e Concepções Gerais, constitui o Primeiro Relatório Parcial e consolida os resultados dos estudos desenvolvidos até setembro de 2010 referentes àquela Etapa de Estudos.

O Primeiro Relatório Parcial da Etapa A3 está dividido nos seguintes tomos:

- **Tomo 1 – Texto;**
- Tomo 2 – Anexos.

---

## ÍNDICE

## ÍNDICE

<b>1. ESTUDOS CARTOGRAFICOS.....</b>	<b>10</b>
1.1. ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA PARA OS ESTUDOS DE VIABILIDADE..	10
1.1.1. Generalidades .....	10
1.1.2. Escopo do trabalho .....	10
1.1.3. Localização da área de estudo .....	10
1.1.4. Materiais e etapas de trabalho de geração do modelo digital .....	10
1.1.5. Produtos .....	19
1.2. CARTOGRAFIA PARA O PROJETO EXECUTIVO.....	19
1.2.1. Localização da área .....	19
1.2.2. Objeto/Escopo da Restituição.....	20
1.2.3. Trabalhos a Executar .....	20
1.2.4. Produto final dos levantamentos .....	21
1.2.5. Síntese das atividades em execução e programadas .....	21
1.2.6. Estrutura Organizacional do Projeto .....	24
<b>2. ESTUDOS PEDOLÓGICOS.....</b>	<b>26</b>
2.1. GENERALIDADES .....	26
2.2. FATORES DE FORMAÇÃO DOS SOLOS.....	27
2.2.1. Geologia .....	27
2.2.2. Relevo .....	28
2.2.3. Vegetação .....	29
2.2.4. Clima .....	30
2.3. PEDOLOGIA DA ÁREA LONTRAS (SEMIDETALHE) .....	33
2.3.1. Métodos de trabalho.....	34
2.3.2. Solos.....	37
2.3.3. Classes de terras para irrigação .....	49
2.3.4. Conclusões e Recomendações para Área Lontras.....	59
2.4. PEDOLOGIA DA AREA INHUÇU (RECONHECIMENTO) .....	61
2.4.1. Métodos de trabalho.....	62
2.4.2. Solos.....	65
2.4.3. Classificação das terras para irrigação .....	72
2.4.4. Conclusões e recomendações.....	80
<b>3. ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS .....</b>	<b>88</b>
3.1. GENERALIDADES .....	88
3.2. METODOLOGIA A SER UTILIZADA.....	89

3.2.1.	<i>Estimativa das cheias máximas</i> .....	89
3.2.2.	<i>Estimativa da capacidade de regularização do reservatório</i> .....	89
3.3.	<b>ORGANIZAÇÃO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS</b> .....	89
3.4.	<b>CARACTERIZAÇÃO FÍSICA</b> .....	90
3.5.	<b>CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA</b> .....	92
3.5.1.	<i>Temperatura</i> .....	93
3.5.2.	<i>Umidade Relativa</i> .....	94
3.5.3.	<i>Evaporação</i> .....	94
3.5.4.	<i>Evapotranspiração Potencial</i> .....	95
3.5.5.	<i>Insolação</i> .....	97
3.5.6.	<i>Velocidade dos Ventos</i> .....	97
3.5.7.	<i>Regime de Chuvas</i> .....	98
3.5.8.	<i>A Variabilidade Interanual das Chuvas na Bacia dos açudes Inhuçu e Lontras</i> .....	104
3.6.	<b>CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DOS AÇUDES INHUÇU E LONTRAS</b> .....	105
3.7.	<b>O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NAS BACIAS DOS AÇUDES INHUÇU E LONTRAS</b> .....	107
3.7.1.	<i>Determinação da Duração da Chuva Crítica</i> .....	107
3.7.2.	<i>Os Postos Pluviométricos Potencialmente Utilizáveis</i> .....	108
3.7.3.	<i>Metodologia para Cálculo das Chuvas Intensas</i> .....	108
<b>4.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ALTERNATIVAS A SEREM ANALISADAS</b> .....	<b>121</b>
4.1.	<b>ALTERNATIVAS DE EIXOS DE BARRAGENS</b> .....	121
4.1.1.	<i>Eixo da barragem Inhuçu</i> .....	121
4.1.2.	<i>Eixo da barragem Lontras</i> .....	123
4.2.	<b>ALTERNATIVAS DO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO</b> .....	125
4.2.1.	<i>Descrição Geral das Soluções Avaliadas</i> .....	125
4.2.2.	<i>Alternativa de Utilização da água Reservada, na Própria Bacia (Macambira/Inhuçu)</i> .....	128
4.2.3.	<i>Descrição da Solução Indicada no Anteprojeto (Transposição por Túnel/Adutora/PCH)</i> .....	130
4.2.4.	<i>Descrição geral do circuito hidráulico da transposição</i> .....	132
4.2.5.	<i>Metodos Construtivos e Suporte Durante a Construção</i> .....	145
4.2.6.	<i>Estimativa das Quantidades e Custos das Obras</i> .....	150
<b>5.</b>	<b>ESTUDOS TOPOGRÁFICOS</b> .....	<b>155</b>
5.1.	<b>TRANSPORTE DE COTAS</b> .....	155
5.2.	<b>TRANSPORTE DE COORDENADAS</b> .....	159
5.3.	<b>LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL, VERTEDOURO E ADUÇÃO</b> .....	161
5.4.	<b>LOCAÇÃO E NIVELAMENTO DA POLIGONAL DO CANAL DE SANGRIA E DA CALHA DO RIO</b> .....	161
5.5.	<b>LEVANTAMENTO DE JAZIDAS (MALHA 100 X 100)</b> .....	161

5.6. SECCIONAMENTO DO EIXO E SANGRADOURO .....	162
<b>6. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS .....</b>	<b>164</b>
6.1. SONDAJENS PERCUSSIVAS E ROTATIVAS.....	165
6.2. ENSAIOS LABORATORIAIS .....	167
6.2.1. <i>Ensaio de Cisalhamento Direto Saturado Lento</i> .....	168
<b>7. CONCLUSÕES .....</b>	<b>171</b>

## 1. ESTUDOS CARTOGRAFICOS

## 1. ESTUDOS CARTOGRAFICOS

### 1.1. ELABORAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA PARA OS ESTUDOS DE VIABILIDADE

#### 1.1.1. Generalidades

Para permitir o detalhamento dos anteprojetos que servirão de base aos estudos de viabilidade a serem complementados na Etapa A4, foi elaborada uma base cartográfica digital a partir de restituição de fotografias de satélite tomadas em 2011. Os trabalhos de elaboração da base foram concluídos conforme descrição sucinta apresentada nos sub-itens seguintes.

#### 1.1.2. Escopo do trabalho

O Consórcio ENGESOFT/IBI contratou a empresa *Threetek Soluções em Geomática* para o processamento, geração de Modelo Digital de Elevação, extração Curvas de Nível e Interpretação a partir de imagens de alta resolução do satélite GEOEYE-1, de área situada no Ceará.

Os serviços de interpretação foram elaborados para o estabelecimento de uma base cartográfica compatível com o nível de detalhamento do estudo de viabilidade.

As etapas de trabalho da elaboração da cartografia são descritas á seguir.

#### 1.1.3. Localização da área de estudo

A área de trabalho está localizada entre os meridianos 41°2'11" e 41°17'29" Oeste, e os paralelos 4°17'26" e 4°33'55" Sul. A **Figura 1.1** mostra a localização da área de trabalho.

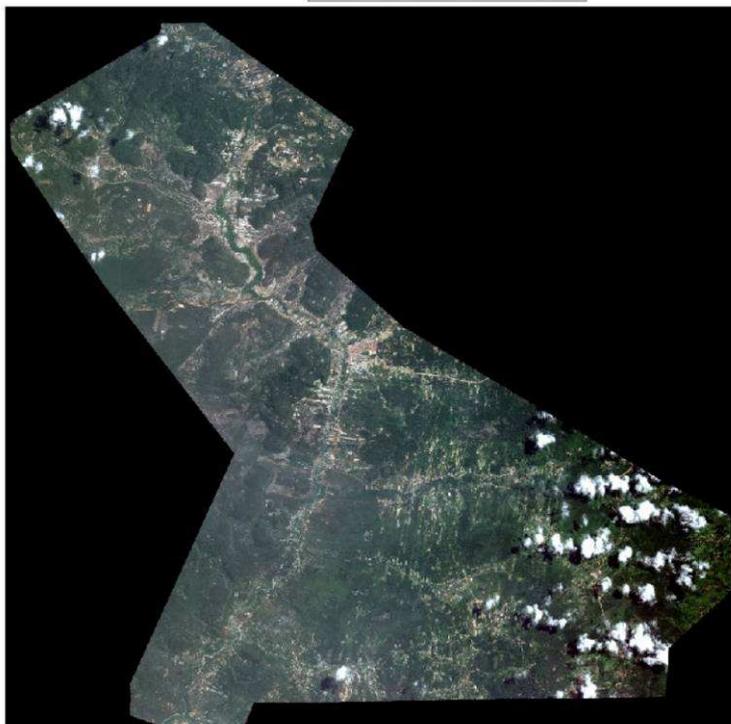
#### 1.1.4. Materiais e etapas de trabalho de geração do modelo digital

##### 1.1.4.1. Materiais

A seguir é apresentada a descrição geral dos materiais utilizados no desenvolvimento do trabalho:

- 4 (quatro) cenas do satélite GEOEYE-1 – 2 (dois) pares estéreos - todas elas com 4 (quatro) bandas multiespectrais de 0,5 (meio) metro de resolução espacial, no formato 11 bits, Datum WGS 1984 e distribuídas conforme a **Figura 1.2**. Data de aquisição das imagens: 07 de Abril de 2011.

Mapa de Localização



Threetek

Figura 1.1: Localização da Área de Trabalho.

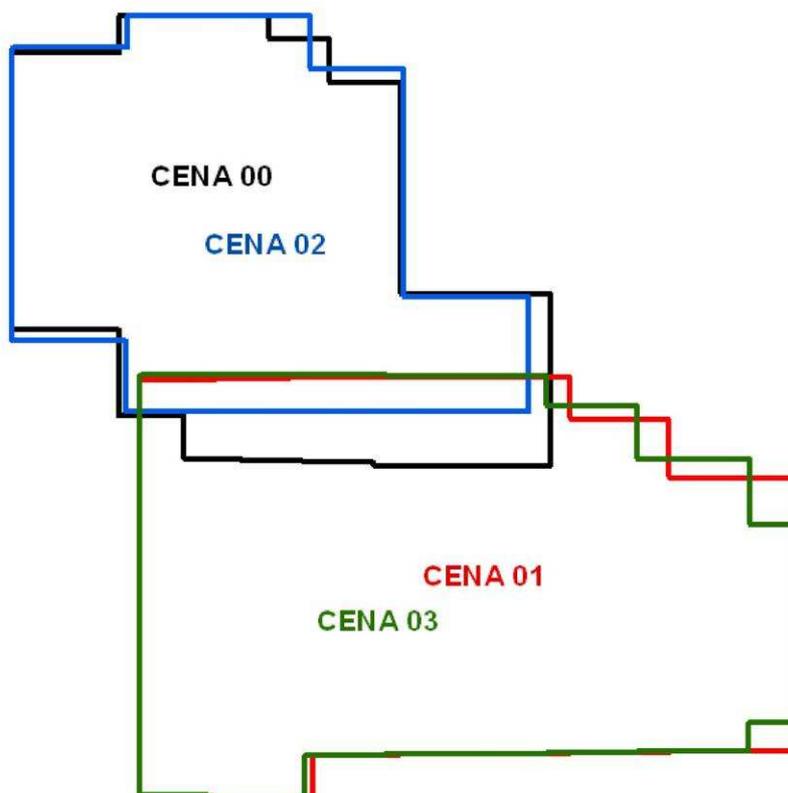


Figura 1.2: Distribuição das Cenas

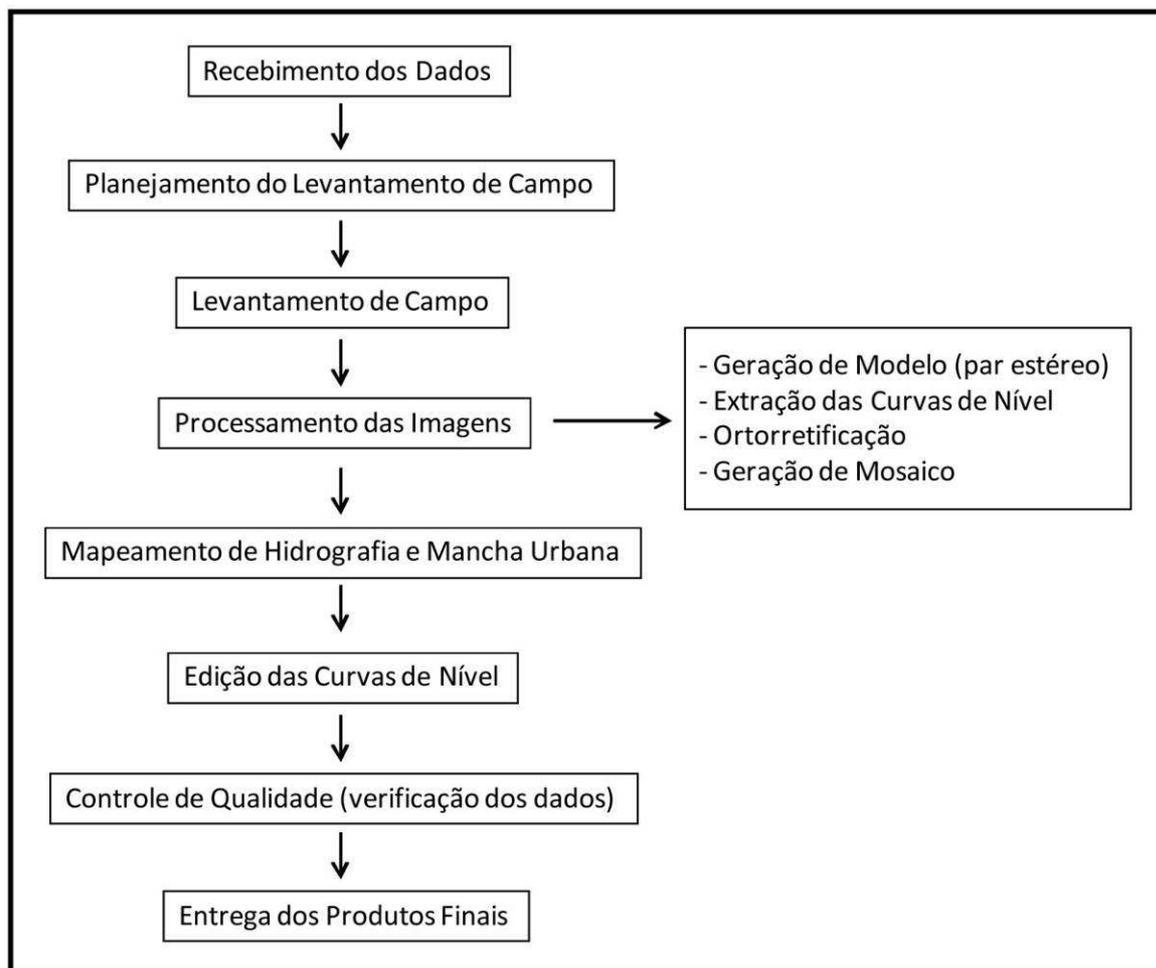
- Pontos de Apoio de Campo adquiridos por GPS;
- Softwares: PCI Geomatica 10.3.2. e ArcGIS 9.3.

#### 1.1.4.2. Etapas de Trabalho

O trabalho consistiu basicamente em 8 (oito) etapas distintas: 1) Recebimento dos dados; 2) Planejamento do Levantamento de Campo; 3) Levantamento de Campo; 4) Processamento das Imagens (Incluindo a geração do MDE e Extração das Curvas de Nível); 5) Vetorização de Hidrografia e Mancha Urbana; 6) Edição das Curvas de Nível; 7)

Controle de Qualidade; e 8) Entrega dos Produtos Finais. A **Figura 1.3** apresenta o fluxograma com o detalhamento da metodologia.

- Controle de Qualidade (verificação dos dados)
- Recebimento dos Dados
- Planejamento do Levantamento de Campo
- Levantamento de Campo
- Processamento das Imagens
- Mapeamento de Hidrografia e Mancha Urbana
- Entrega dos Produtos Finais
- Geração de Modelo (par estéreo)
- Extração das Curvas de Nível
- Ortoretificação
- Geração de Mosaico
- Edição das Curvas de Nível



**Figura 1.3: Fluxograma da metodologia de trabalho.**

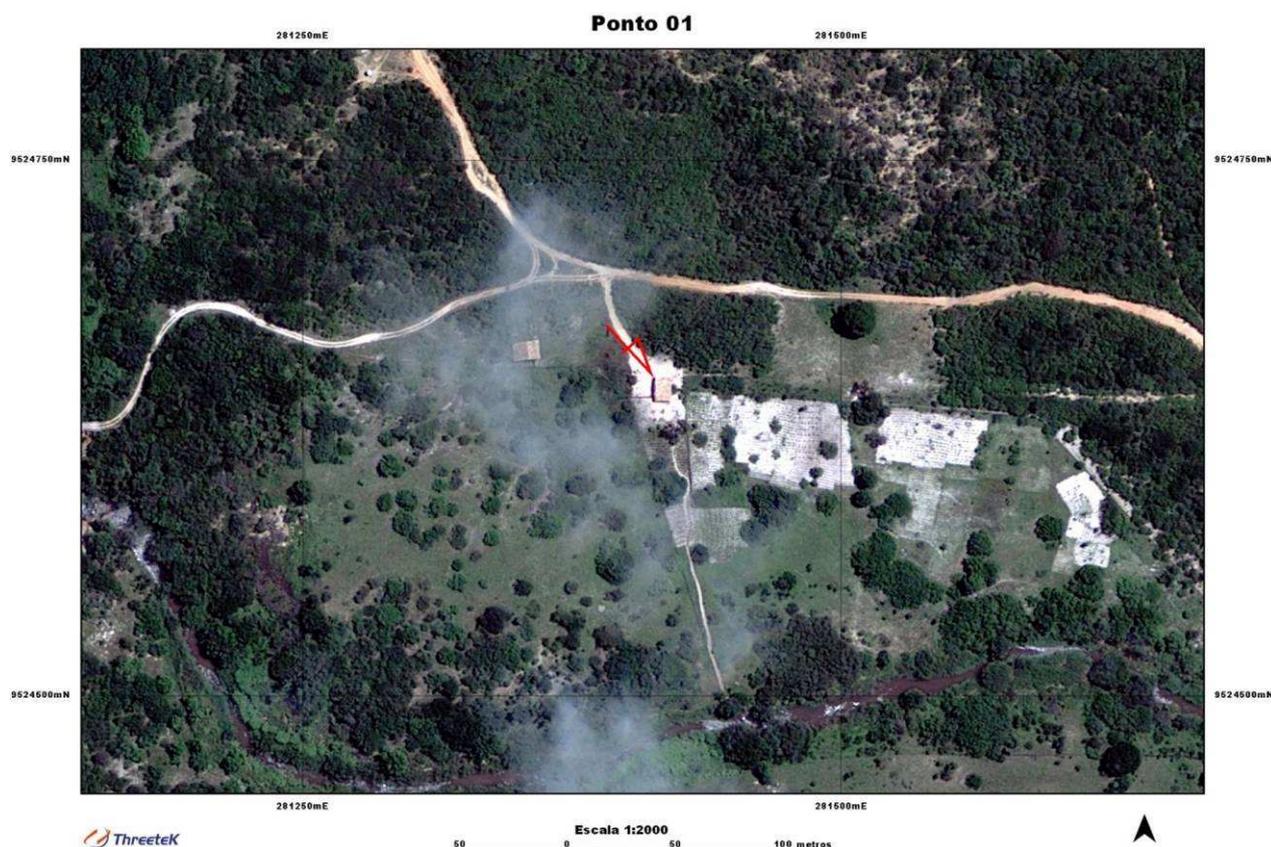
#### 1.1.4.3. *Recebimento dos dados*

Esta etapa englobou a avaliação e organização dos dados fornecidos pela GEOEYE-1.

#### 1.1.4.4. *Planejamento de Campo*

No planejamento de campo foi elaborada a logística de apoio de campo, seleção das áreas de coleta dos pontos de apoio de campo e elaboração dos seus respectivos croquis de localização.

Segue um modelo exemplificado de um croqui de campo:



**Figura 1.4: Modelo de Croqui de Campo**

O levantamento de campo realizado englobou as seguintes atividades:

- a) Mobilização e deslocamento da equipe para a área de trabalho;
- b) Planejamento das medições dos pontos objetos, conforme indicação inequívoca da localização dos pontos a serem medidos, constando da indicação detalhada da feição correspondente no croqui de localização;
- c) Planejamento das medições com identificação dos pontos a serem usados como referência para a medição GPS no modo relativo.
- d) Medição dos pontos materializados para servir de apoio à medição dos pontos objetos. Foram utilizados receptores GPS geodésico;
- e) Medição georreferenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro dos pontos de controle para apoio terrestre do mapeamento por imagens, com receptores GPS geodésico e topográfico;
- f) Processamento dos dados da medição GPS, com avaliação dos resultados.

#### 1.1.4.5. *Processamento das Imagens, Geração do MDE e extração das Curvas de Nível*

A etapa de processamento de imagens foi realizada no software PCI Geomatica. Este, por sua vez, consiste em um conjunto de ferramentas de processamento de imagens, edição vetorial e análise espacial. Segue abaixo a descrição dos procedimentos que foram realizados no âmbito deste trabalho.

a) Geração das Composições Coloridas: No módulo OrthoEngine foram geradas 4 (quatro) composições coloridas. Para tanto utilizou-se a funcionalidade CD GEOEYE, a qual permite que sejam geradas composições coloridas com informações de órbita do satélite e importação dos RPCs (Coeficientes Racionais Polinomiais). Neste procedimento foram consideradas as bandas RGB (vermelho, verde e azul), as quais foram agrupadas em um único arquivo pix (formato nativo do programa PCI) para cada cena.

b) Ortorretificação das Imagens GEOEYE; Geração de MDE e extração de Curvas de Nível: Neste procedimento foram realizadas as seguintes etapas: coleta de pontos de ligação (Tie Points – TPs); coletas de pontos de controle (GCPs); geração do modelo digital de elevação (MDE); Extração das Curvas de Nível; Ortorretificação das Imagens e verificação dos resultados (Ortorretificação).

b.1) Coletas de TPs: Primeiramente, foi criado um projeto de orrorretificação englobando todas as cenas GEOEYE e seus respectivos RPCs (para maiores informações sobre o arquivo RPC consultar o item b.5). Na segunda etapa, foram coletados pontos de ligação (TPs) na área de sobreposição entre as imagens do mesmo par estereoscópio e entre os diferentes pares.

b.2) Coleta de Pontos de Controle: Tendo sido coletados os TPs, o próximo passo foi coletar pontos de controle (GCPs). Para tal, utilizou-se os pontos de apoio levantados em campo por GPS. O relatório com os erros médios residuais obtidos para cada GCP coletado encontra-se anexado à este documento.

b.3) Geração do MDE: Após a coleta de TPs e GCPs foram gerados os 2 (dois) pares epipolares GEOEYE e, posteriormente, o MDE. Na geração deste último, considerou-se, além dos pares epipolares, os TPs, os GCPs e as informações do RPC. A **Figura 1.5** mostra o MDE final gerado para a área de interesse.

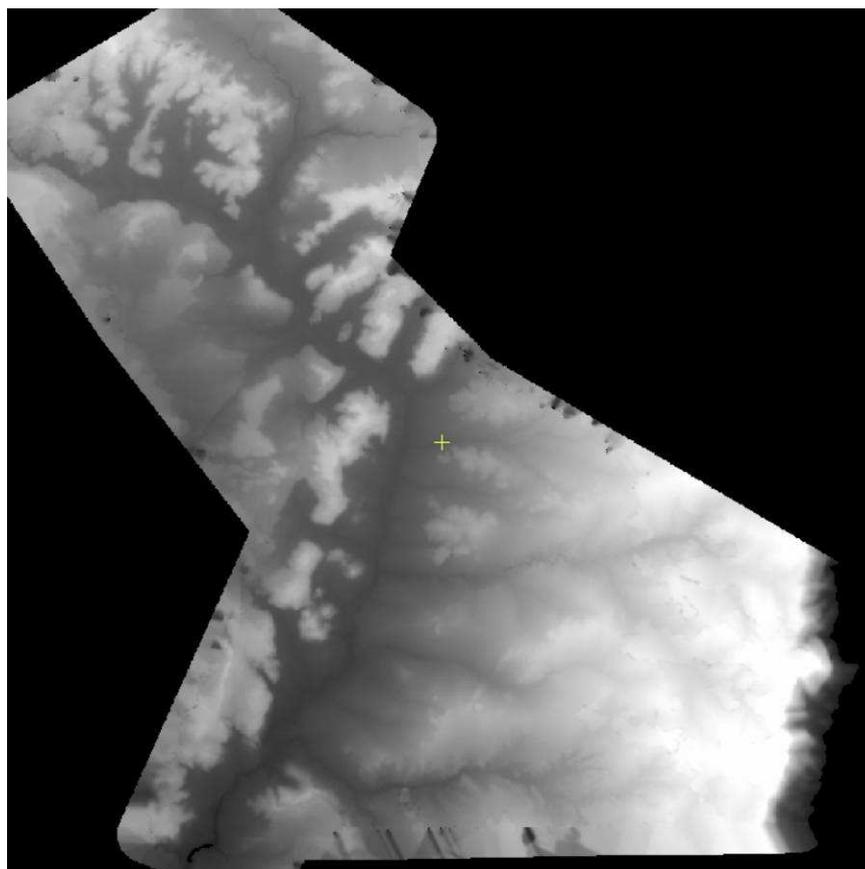
b.4) Extração das Curvas de Nível: De posse do MDE gerado, foram extraídas as Curvas de Nível com equidistância de 5 metros utilizando a funcionalidade *Generate*

*Contours* do módulo *OrthoEngine* do *PCI Geomática*.

b.5) Ortorretificação das Imagens: após realizada a coleta de GCPs/TPs, o passo seguinte foi realizar a orrorretificação das cenas adquiridas com maior ângulo de elevação utilizando o MDE e o arquivo Rational Polinomial Coeficiente (RPC). O modelo de câmera RPC do satélite GEOEYE-1 é utilizado para simular as efemérides e atitude do sensor no momento do imageamento. O RPC aliado a um

MDE permite ao usuário corrigir os deslocamentos dos pixels de uma imagem devido ao relevo sem a necessidade de se coletar pontos de controle no terreno (DIAL et. al., 2002). A maior ou menor precisão do posicionamento de um pixel em uma imagem corrigida pelo modelo RPC vai depender também da escala dos dados

altimétricos utilizados para elaborar o MDE e da declividade da área imageada (SILVA e VERGARA, 2005). Desta forma, vale destacar que a coleta de pontos de controle citada no item anterior, foi imprescindível para garantir a acurácia do MDE e da orrorretificação. Durante esta etapa de orrorretificação, o referencial geodésico das imagens de saída foram convertidos para SIRGAS 2000.



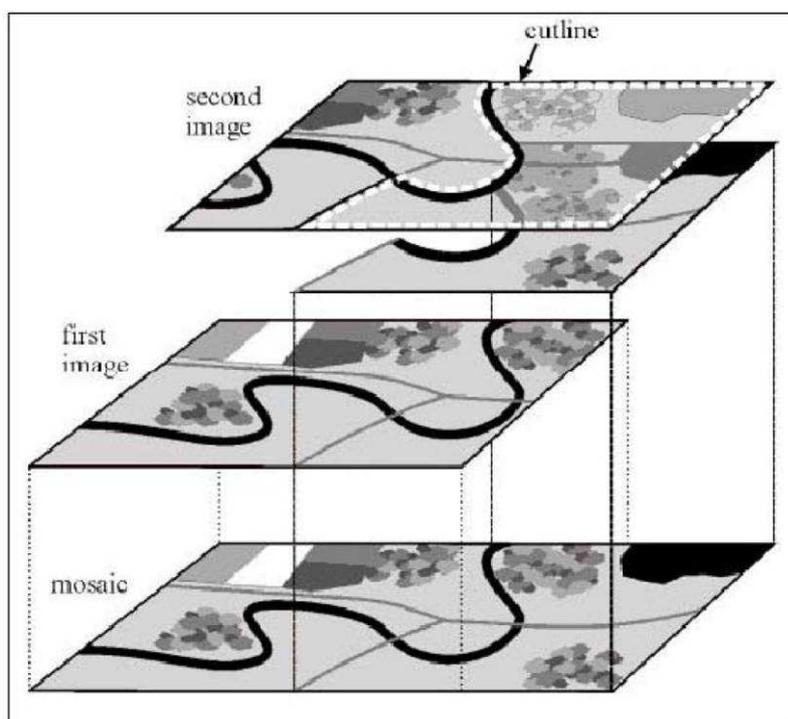
**Figura 1.5: Modelo Digital de Elevação gerado a partir dos pares de imagens GEOEYE-1**

c) Geração de mosaico de cenas adjacentes: o mosaico de imagens consiste na junção de duas ou mais imagens com sobreposição para a criação de uma única imagem uniforme (**Figura 1.6**).

Basicamente, trata-se de criar uma “colcha de retalhos” com diversas imagens e, então, fazer desaparecer as junções.

Para que o mosaico pareça uma única imagem, ao invés de uma colagem, é importante que as imagens se encaixem bem. Os melhores resultados são sempre obtidos com imagens ortorretificadas. Usando-se um modelo matemático rigoroso assegura-se o melhor encaixe não só das imagens individuais, mas também das imagens reunidas como um todo.

A primeira etapa da geração do mosaico consistiu na elaboração das linhas de corte (vetor que delimita a área da imagem a ser inserida no mosaico), priorizando as áreas de menores deslocamentos entre as imagens. Na etapa seguinte, foram coletadas amostras na área de sobreposição entre as imagens de forma a equilibrar as cores do mosaico, tornando-o homogêneo.



**Figura 1.6: Esquema de geração de mosaico de imagens**

d) Processamentos finais das imagens: ao término da geração do mosaico foram realizados os procedimentos de equalização, conversão para o formato *GeoTIF* e *MrSID* e recorte conforme grade de quadriculas.

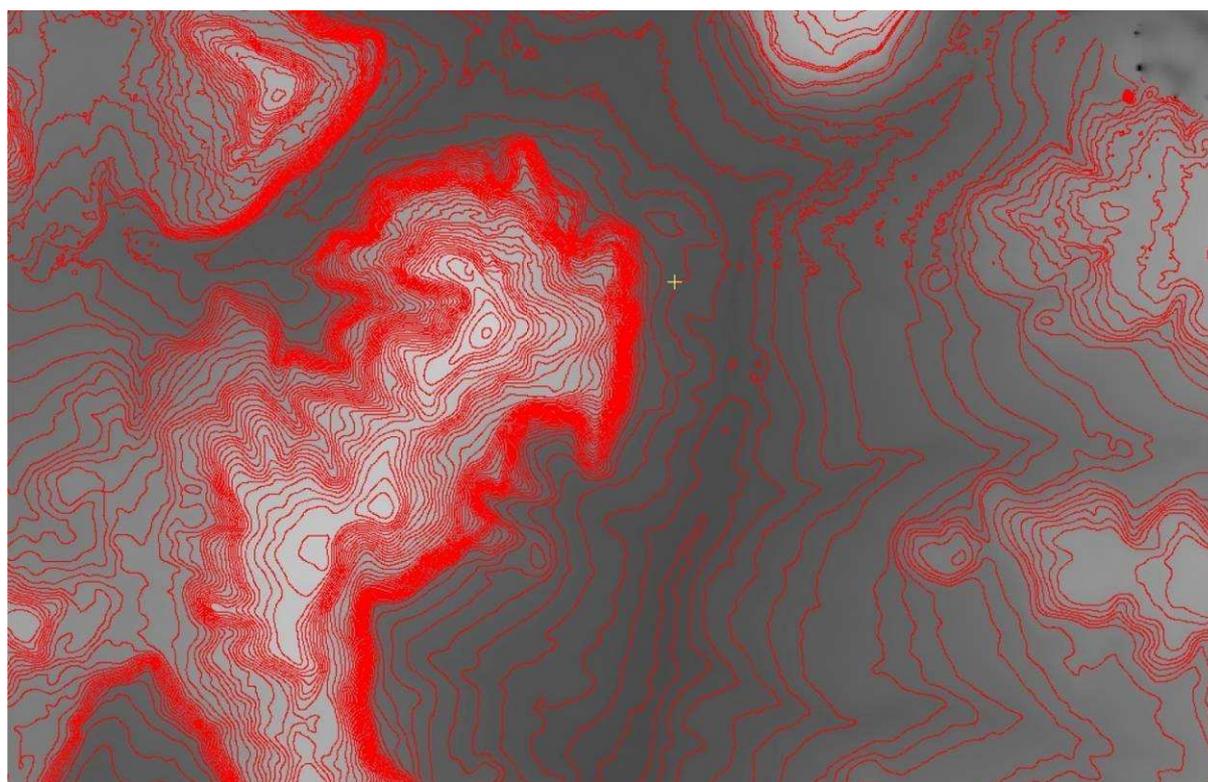
#### 1.1.4.6. Vetorização de Hidrografia e Mancha Urbana

Nesta etapa, foi realizada a extração das feições hidrografia e mancha urbana, através de interpretação visual no programa ArcGIS. A edição visual foi realizada sobre o produto gerado a partir da ortorretificação.

Para garantir a consistência dos dados do mapeamento, durante a etapa de edição visual, foi utilizada sempre uma escala maior do que a escala final do dado.

#### 1.1.4.7. Edição das Curvas de Nível

Alguns ruídos foram vetorizados automaticamente pelo *OrthoEngine* a partir do MDE. Estes, por sua vez, foram excluídos do arquivo vetorial (*shapefile*) referente às curvas de nível. Por fim, foi realizado um processo automático de suavização das linhas utilizando o software *ArcGIS*. O resultado final é apresentado na **Figura 1.7**.



**Figura 1.7: MDE e Curvas de Nível extraídas a partir dos pares esteros GEOEYE-1.**

#### 1.1.4.8. Controle de Qualidade dos Dados

Para verificação da ortorretificação foram analisados os Erros Médios Residuais (*RMS*) dos pontos coletados em campo através de GPS.

No que se refere ao mosaico final, foi realizada uma verificação para assegurar que não houve desequilíbrio de cores e deslocamentos entre as cenas que o compõem.

No que se refere ao dado vetorial, foi realizada as etapas de verificação da tabela de atributos e validação topológica. Especificamente para as curvas de nível, a validação topológica teve como finalidade encontrar e eliminar possíveis linhas duplicadas ou descontínuas.

### **1.1.5. Produtos**

- Mosaico das cenas GEOEYE-1 (ortorretificadas e equalizadas), na composição 321-RGB, nos formatos MrSID e GeoTIF, em 8 Bits, sistema de Coordenadas UTM, referencial geodésico SIRGAS 2000;
- Arquivos vetoriais, formato Shapefile, contendo as hidrografias e manchas urbanas;
- Arquivo vetorial, formato Shapefile, contendo as curvas de nível equidistantes em 5 metros;
- Relatório abrangendo a descrição dos serviços realizados, em formato digital (pdf) e impresso.

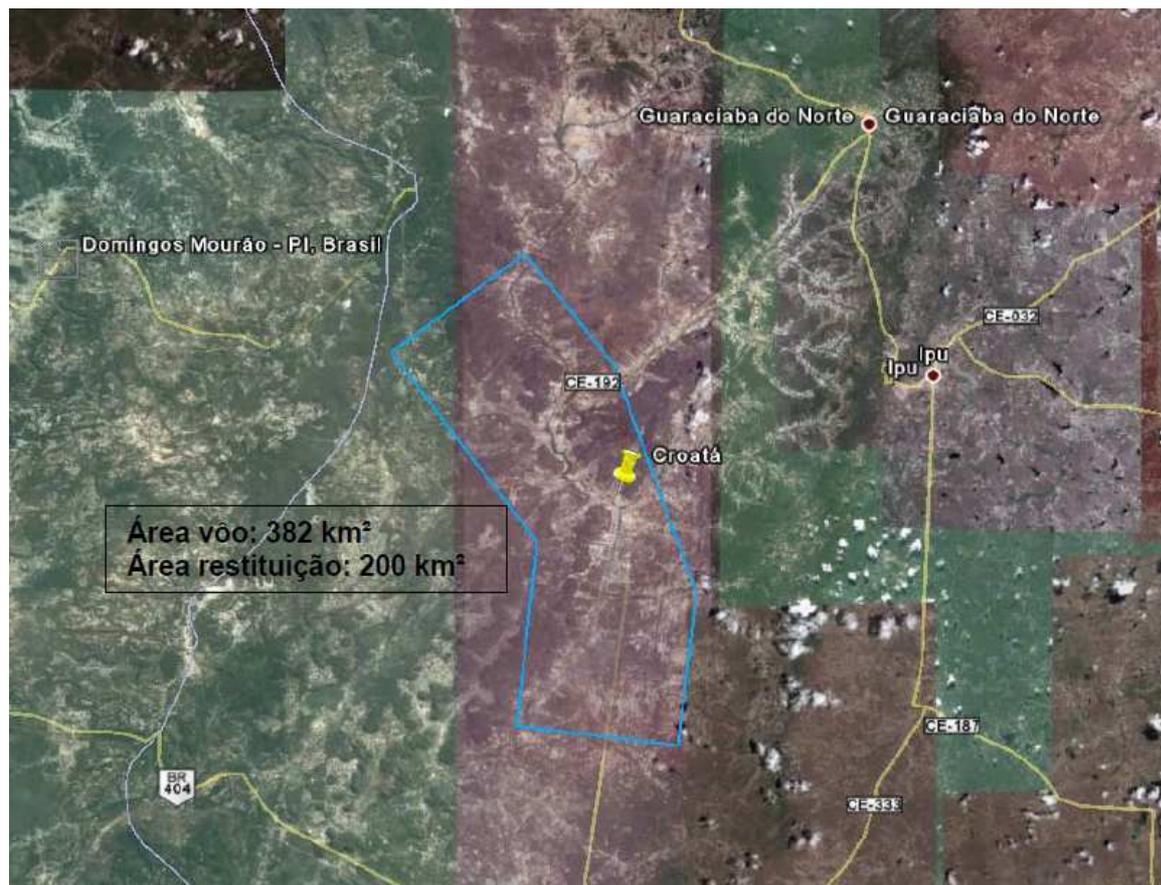
No Anexo I encontram-se desenhos com as imagens de satélites, mapas restituídos da região estudada além de Relatório de Erros.

## **1.2. CARTOGRAFIA PARA O PROJETO EXECUTIVO**

Os estudos para cobertura e restituição aerofotogramétrica para área da Ibiapaba foram contratados pelo Consórcio ENGESOFT/IBI e encontram-se em desenvolvimento objeto de sub-contrato com a empresa TOPOCART TOPOGRAFIA ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S/S LTDA.

### **1.2.1. Localização da área**

Os levantamentos serão executados numa área de aproximadamente 382 km<sup>2</sup> situada no estado do Ceará, visando à implantação de obras de engenharia do Projeto do Eixo de Integração da Ibiapaba. A figura a seguir apresenta a localização da área:



**Figura 1.8: Localização da Área**

### **1.2.2. Objeto/Esopo da Restituição**

Elaboração de base cartográfica na escala 1:5.000 com curvas de nível de equidistância vertical de 1 m (PEC Classe A) de uma área de 200 km<sup>2</sup>, a partir de cobertura aerofotogramétrica digital com resolução compatível com a escala de mapeamento para geração de ortofotocartas.

### **1.2.3. Trabalhos a Executar**

Estão sendo realizados os seguintes serviços:

- Recobrimento aerofotogramétrico da área de 382 km<sup>2</sup>;
- 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 equidistantes verticalmente de 1 (um) metros numa área de 200 km<sup>2</sup>. Os temas a serem restituídos são limites de vegetação, rodovias, hidrografia e edificações de grande porte;
- Ortorretificação, mosaicagem e tratamento final de ortofotos com resolução compatível para a escala de mapeamento para a área de 200 km<sup>2</sup>;

- Edição cartográfica final com a composição das ortofotocartas na escala de mapeamento para a área de 200 km<sup>2</sup>.

#### **1.2.4. Produto final dos levantamentos**

##### **Da Cobertura Aerofotogramétrica**

- Fotoíndice na escala 1:60.000 de toda a área coberta em papel sulfite e respectivo arquivo em formato JPEG;
- Uma coleção das imagens brutas, no formato JPEG;
- Uma coleção de fotos impressas em papel fotográfico.

##### **Do Apoio de Campo**

- Relatório Parcial contendo a metodologia de execução dos trabalhos executados, monografias dos vértices oficiais utilizados (IBGE), planta esquemática da Rede de

Apoio Básico, monografias dos vértices implantados, listagem dos processamentos e ajustamentos da Rede de Apoio Básico, listagem dos processamentos e ajustamentos do Apoio Suplementar e Arquivos RINEX.

##### **Da Restituição, Ortorretificação e Edição Final**

- Relatório consolidado contendo as especificações das etapas executadas;
- 01 (uma) coleção de ortofotocartas, na escala 1:5.000, plotadas em papel sulfite, formato A1, no padrão de apresentação a ser definido de comum acordo com o cliente e respectivos arquivos digitais nos formatos DWG, JPEG e JGW;
- 01 (uma) planta geral vetorial, em arquivo digital, no formato DWG.

#### **1.2.5. Síntese das atividades em execução e programadas**

CONTRATANTE: Consórcio Engesoft - IBI

CONTRATADA: Topocart Topografia Engenharia e Aerolevantamentos S/S Ltda.

OBJETO: Elaboração de Estudos Aerofotogramétricos na Região de Ibiapaba, localizado no Estado do Ceará. O mapeamento compreende uma área de aproximadamente 382,00 km<sup>2</sup>.

SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO: SIRGAS-2000

DATUM VERTICAL: Marégrafo de Imbituba/SC.

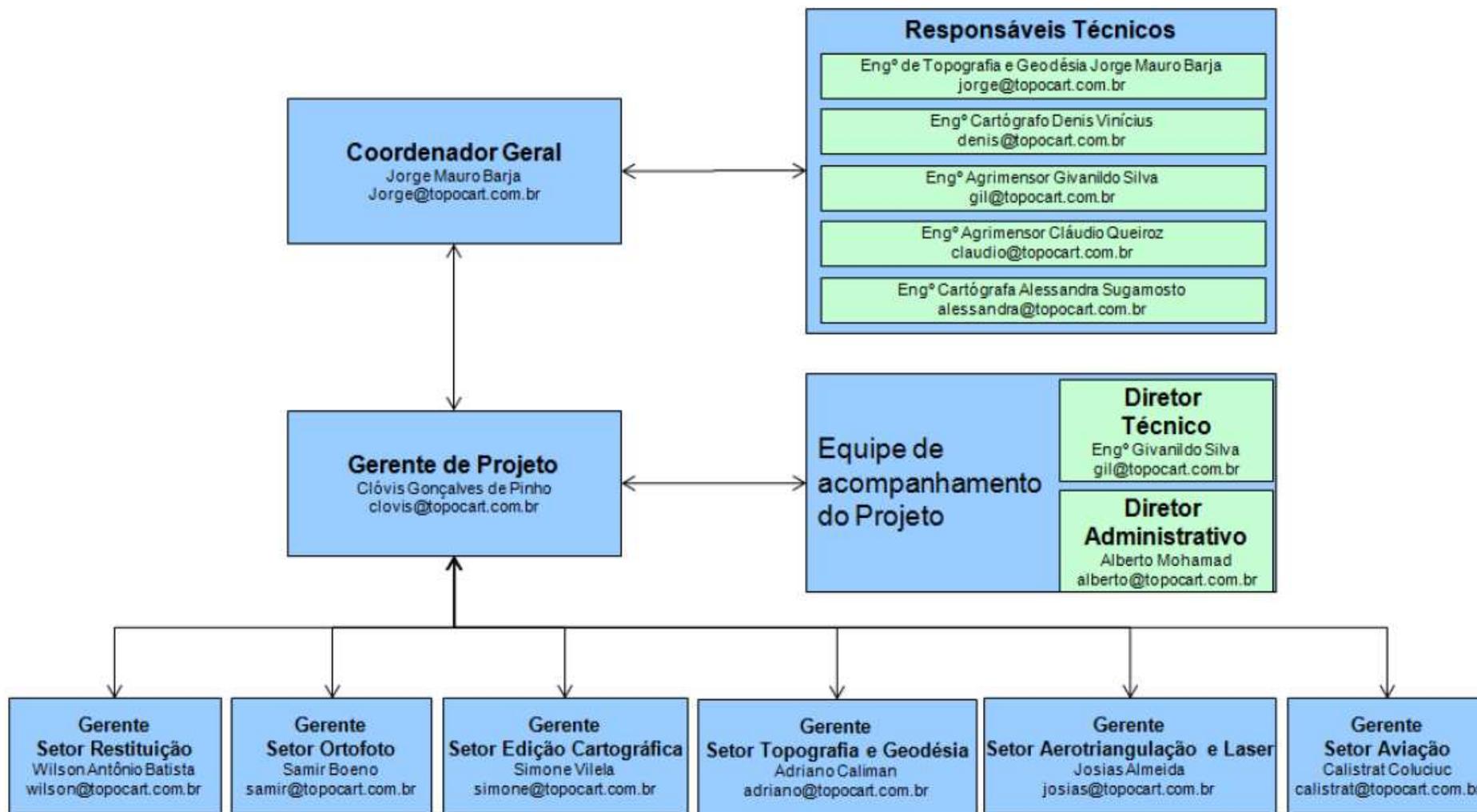
SISTEMA DE PROJEÇÃO: Universal Transversa de Mercator (UTM).

LOCAL: Localizado na Região da Serra do Ibiapaba no Estado do Ceará.

ETAPAS	PRODUTOS	DECOMPOSIÇÃO DOS PRODUTOS
<b>ETAPA 01</b> Plano de Trabalho e Plano de Voo	1.1 – Plano de Trabalho; 1.2 – Licença de Voo;	<b>PRODUTOS FINAIS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 (um) exemplar em meio digital do Plano de Trabalho contendo a descrição completa do projeto, com detalhamento de cada etapa a ser executada e entregue;</li> <li>• Licença de Voo emitida pelo Ministério da Defesa, referente ao projeto;</li> <li>• Plano de Voo analítico e gráfico;</li> <li>• Certificado de Calibração da Câmera Digital;</li> </ul>
<b>ETAPA 02</b> Apoio de Campo	2.1 – Apoio Básico e Suplementar; 2.2 – Nivelamento Geométrico	<b>PRODUTOS FINAIS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Monografias em meio digital de todos os vértices levantados contendo croquis de cada ponto implantado na área, fotos e esquema gráfico de localização dos pontos;</li> <li>• 01(uma) planta em meio digital do esquema gráfico dos pontos de apoio e sua distribuição em formato vetorial;</li> <li>• Cardeneta de nivelamento;</li> <li>• Relatório Técnico de Execução.</li> </ul>
<b>ETAPA 03</b> Cobertura Aerofotogramétrica	3.1 – Recobrimento Aéreo Digital;	<b>PRODUTOS FINAIS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 (uma) coleção digital de todas as fotos aéreas, no formato Tiff;</li> <li>• 01 (um) fotoíndice em meio digital em resolução, escala e articulação adequada, em formato dwg acompanhado de uma versão em PDF, contendo as toponímias principais: rios, rodovias, represas, reservas e entre outras;</li> <li>• Relatório em meio digital de execução do recobrimento aéreo digital;</li> </ul>
<b>ETAPA 04</b> Aerotriangulação	4.1 – Aerotriangulação;	<b>PRODUTOS FINAIS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquivos digitais dos parâmetros resultantes de orientação exterior do bloco ajustado, contendo nome da foto e coordenadas dos centros em formato doc;</li> <li>• Relatório Técnico da Etapa.</li> </ul>

ETAPAS	PRODUTOS	DECOMPOSIÇÃO DOS PRODUTOS
<b>ETAPA 05</b> Ortofotos Digitais	5.1 – Ortofotos;	<b>PRODUTOS FINAIS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 (uma) coleção de ortofotos RGB no formato geotiff com GSD de 15 cm, conforme articulação definida em comum acordo com o contratante em meio digital;</li> <li>• Relatório Técnico da Etapa.</li> </ul>
<b>ETAPA 06</b> Restituição Fotogramétrica Digital	6.1 – Restituição Planialtimétrica;	<b>PRODUTOS FINAIS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquivo único em meio digital de 200 Km<sup>2</sup> contendo a restituição planialtimétrica com curvas de nível de metro em metro, em formato dwg;</li> <li>• Relatório Técnico da Etapa.</li> </ul>
<b>ETAPA 07</b> Edição Cartográfica	7.1 – Ortofotocartas;	<b>PRODUTOS FINAIS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 (uma) coleção de ortofotocartas no formato dwg articulados no formato A1, impresso e em meio digital;</li> <li>• Relatório Técnico da Etapa.</li> </ul>
<b>ETAPA 08</b> Relatório Técnico Consolidado	08.1 – Relatório Técnico Final;	<b>PRODUTOS FINAIS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 01 (uma) via em meio digital do Relatório Técnico Final, contendo todas as etapas do trabalho;</li> </ul>

### 1.2.6. Estrutura Organizacional do Projeto



## 2. ESTUDOS PEDOLÓGICOS

## 2. ESTUDOS PEDOLÓGICOS

### 2.1. GENERALIDADES

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

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

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

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

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

- Área Inhuçu – Situada á jusante do açude Inhuçu, se estende até a bacia hidráulica do futuro “Açude Lontras” acompanhando os curso de água dos rios Macambira/Inhuçu. Hoje já é bem exploradas, e terá sua irrigação atendida com condução de água por gravidade desde o reservatório homônimo até os pontos de tomada de água de cada proprietário irrigante;
- Área Lontras – Acompanha a margem esquerda da bacia hidráulica do açude Lontras. Ocupa terras mais altas localizadas entre 10 e 100 m acima das cotas médias da bacia

hidráulica do açude Lontras. São terras de alta potencialidade para irrigação, hoje sem acesso à água.

Para a área Lontras, sem nenhum estudo pedológico precedente, praticamente sem exploração agrícola irrigada, onde os solos apresentam maior potencialidade para utilização com agricultura irrigada, na qual poderá ser implantado um importante projeto de irrigação, estudou-se a mesma ao nível de semidetalhe.

Para a mancha Inhuçu, atualmente relativamente muito explorada com agricultura, e com estrutura fundiária estabelecida bem definida elaborou-se um estudo de reconhecimento pedológico. Nos tópicos seguintes serão apresentados os resultados dos estudos.

## **2.2. FATORES DE FORMAÇÃO DOS SOLOS**

### **2.2.1. Geologia**

A área do estudo está ocupada por solos com material originário decorrente da intemperização de rochas sedimentares, mais precisamente de arenitos da Série Serra Grande. Essa série, também conhecida por Ibiapaba, é capeada por arenitos calcários de camadas relativamente espessas, porém, em algumas situações, podem ocorrer camadas com grãos mais finos e de menor espessura que as demais camadas. Neste caso, podem ser classificadas como folhelhos calcários ou arenitos. No nosso caso, os arenitos é que estão presentes como rochas geradoras dos materiais de origem dos solos. Um dos aspectos mais característicos dessa Série é a falsa estratificação. Os arenitos, na área, são esbranquiçados, com estratificação cruzada e formam solos bastante arenosos ou areias.

A Série Serra Grande ou Ibiapaba é originária de rochas sedimentares do Cretáceo. O Cretáceo é o período mais recente do Mesozóico, com duração de cerca de 80 milhões de anos. Compreende os terrenos situados entre o Jurássico e os da base da era Cenozóica.

No que se refere à vida no Cretáceo, é caracterizada pelo domínio da flora, onde se revela desenvolvimento das angiospermas – dicotiledôneas e monocotiledôneas. No Cretáceo Inferior surgiram as primeiras plantas com flores. Com respeito à fauna, houve grande desenvolvimento de foraminíferos, que deram origem à greda branca e esverdeada.

Entre os moluscos cefalópodes estão as amonitas de tamanho gigantesco e alguns desenrolados como os baculites. Na última etapa desse período, os peixes modernos, os teleosteos (arenques, bacalhaus, salmões) passaram a substituir as formas mais antigas, do tipo com escamas ósseas. Por sua vez, os répteis experimentaram grande desenvolvimento, embora não tão importante quanto no Jurássico. Entre os répteis terrestre citam-se os Iguanodons e entre os marinhos os Elasmossauros. No Cretáceo Superior deu-se a extinção dos grandes répteis.

O clima do Cretáceo já permitia a diferenciação de zonas climáticas, que não se caracterizavam no Jurássico. Distingua-se certa diferenciação na fauna e flora no referido Cretáceo.

A paleografia dos terrenos cretáceos revela a existência de dois blocos continentais no hemisfério norte: o continente atlântico norte reunindo as terras Algonquianas e Escandinavas e o Sino – Siberiano, constituído pelo continente Angara, que se desenvolveu no sentido meridional. No hemisfério sul, novas fragmentações se verificaram com a separação do continente Afro-Brasileiro, constituindo a América do Sul e a África e a separação de Madagascar do continente Indo- Malgaxe.

Entre os blocos que formavam os continentes emersos do hemisfério norte e os do hemisfério sul, havia o mar de Tethys e, entre os dois continentes do hemisfério norte, um geossinclinal.

No decorrer do Terciário surgiram os Andes, Alpes, Pirineus, Apeninos, Cárpatos, Himalaia, Atlas, etc. Nos Estados Unidos levantaram-se as montanhas Rochosas e os planaltos do Arizona e Utah. Os terrenos do Cretáceo ocorrem em vastos chapadões do Brasil Central, chapadões do Maranhão, Ceará e Piauí e, em trechos da zona litorânea. Perfazem um total de aproximadamente 686.115km<sup>2</sup> equivalente a 8,6% do território nacional.

Enfim, o que interessa é que os arenitos cretáceos da área levantada são praticamente constituídos pela partícula de quartzo e, portanto, são formadores de solos arenosos. A profundidade dos solos é função dos agentes intempéricos (principalmente a água, a posição da rocha no relevo e as condições climáticas locais).

### **2.2.2. Relevo**

O relevo da área é característico de formações tabulares e de chapadões, isto é, suave ondulado, às vezes quase plano com encostas extensas e pouco declivosas e, vales em V aberto. Ocorrem partes inexpressivas de relevo ondulado de formas arredondadas, onde os solos são mais rasos e comumente aparecem blocos de afloramentos rochosos. As áreas com este tipo de relevo foram descartadas do estudo, ficando às margens das partes consideradas aproveitáveis e/ou constituindo pontos isolados no interior de manchas de solos agricultáveis.

O relevo suave ondulado se mostra na sua maioria na forma de pendentes extensas com declividades compreendidas entre 3 a 6%. A forma de relevo plano ocupa áreas da parte superior das mesas tabulares e a declividade não excede a 2%.

O relevo da área levantada permite que as águas das precipitações pluviométricas tenda a infiltrarem-se verticalmente provocando maior intensidade na forma de intemperização das rochas subjacentes. Isto proporciona solos de boa profundidade, até porque, o material das rochas

areníticas possui cimentação frágil, contribuindo para uma desagregação mais fácil das partículas minerais das referidas rochas.

### **2.2.3. Vegetação**

A vegetação da área do estudo enquadra-se perfeitamente no tipo florístico classificado como caatinga, ocorrente no nordeste brasileiro.

Este tipo de vegetação, no entanto, se mostra na área, com duas feições distintas e revela existir uma relação estreita entre elas e ação do homem.

A primeira das feições consideradas, diz restrita a caatinga de porte médio e bastante densa. Neste caso, a ação do homem não se faz presente a muito tempo ou não se manifestou. Ela apresenta dois estratos na sua composição. O primeiro é pouco desenvolvido e representado por espécies de plantas rasteiras e de porte muito pouco desenvolvido. Este estrato ou substrato se dispõe na sombra das espécies arbustivas e arbóreas. Trata-se de espécies graminóides, leguminosas, ciperáceas, ocupando, como fora dito antes, a sombra de andares superiores ou de menor luminosidade. O segundo, o estrato principal, é composto de arbustos, arvoretas e árvores de porte médio, (dispostas de forma isolada).

Esta feição é dominante na área do levantamento pedológico.

A segunda feição, composta pelas mesmas espécies da anterior, só que a caatinga é de porte menos desenvolvido e adensamento da vegetação é menos intenso. Nesta feição a ação do homem se faz presente.

São áreas desmatadas para cultivos que, após abonados, tenta se refazer. Trata-se de uma caatinga composta por espécies de porte baixo e adensamento ralo.

Nas duas feições acima descritas o hiperxerofilismo é imperativo, alguns meses após a temporada da chuva, as espécies perdem a folhagem. Isto nada mais é, do que uma estratégia da natureza, para manter as espécies guardando energias para sobreviverem até a volta do período de precipitações atmosféricas. Devo esclarecer que algumas espécies, de porte mais desenvolvido, conseguem manter-se com a folhagem.

Concluindo, citaremos o nome popular de algumas espécies identificadas: bananinha, besouro, catingueira, catanduva, chanana, cansanção, carrapicho, croata, facheiro, grão de galo, jurema, jurema branca, monguba, mororó, marmeleiro, mofumbo, mandacaru, malva, málica, maria preta, macambira, pinhão, pimenta de raposa, piquiá, pau d'arco, violeta, xique-xique e outras.

## 2.2.4. Clima

Considerando-se que na área levantada não existe nenhuma estação meteorológica oficial, as apreciações climatológicas a serem emitidas, serão fundamentadas na estação mais próxima, ou seja, a de nº 82583 - Crateús, que dista aproximadamente 86 km em linha reta da sede do município de Croata. O fator que compromete a validade dos dados da estação de Crateús, diz respeito a altitude, posto que a cidade de Croata situa-se sobre a chapada da Ibiapaba e apresenta altitude acima de 571m, enquanto que a cidade de Crateús encontra-se na altitude 275 m acima do nível do mar.

Não dispondo de outra alternativa serão usados os dados da estação de Crateús. Apenas com relação à pluviometria, dispomos de informações confiáveis referentes à cidade de Croatá, no período de 1962 á 2010. Assim, quanto a pluviometria adotaremos as informações do município de Croatá.

### 2.2.4.1. Pressão Atmosférica (hPa)

Constata-se em função das baixas altitudes e latitudes continentais próprias das regiões tropicais, inclusive, a inexistência da ocorrência de ciclones que passam influencia-lo, a distribuição que é bastante regular e distribuições das pressões atmosféricas. Vide o quadro abaixo:

ESTAÇÃO DE CRATEUS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
	977,0	976,8	976,9	977,5	977,7	979,6	980,0	982,7	978,3	977,5	976,4	976,4	978,1

É esperável no município de Croatá que as pressões atmosféricas sejam pouco maiores, posto que o município encontra-se em altitude mais elevada.

### 2.2.4.2. Temperatura

Na estação de Crateus as temperaturas mínimas anuais estão entre 18,2 e 22,7°C, com média de 21,0°C. Por sua vez, as temperaturas máximas vão de 29,2 a 35,4°C, com média anual de 32,5°C.

No quadro a seguir, veremos a distribuição dos diversos tipos de temperatura ao longo dos anos:

ESTAÇÃO DE CRATEUS	MESES												ANO
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
TEMPERATURA MÁXIMA	977,0	976,8	976,9	977,5	977,7	979,6	980,0	982,7	978,3	977,5	976,4	976,4	978,1
TEMPERATURA MÍNIMA	21,9	21,1	21,3	20,0	20,9	19,8	18,8	19,1	22,0	22,0	22,0	22,7	21,0
TEMPERATURA MÉDIA	27,4	24,9	24,1	24,0	25,7	23,9	24,2	25,5	27,6	26,2	29,0	27,1	25,8

Considerando que o município de Croatá está numa altitude superior á de Crateus, com certeza os valores de temperatura serão mais baixos.

Verifica-se observando-se o quadro acima, que as temperaturas mínimas nunca são inferiores a 18,8°C e que as máximas não superam aos 35,4°C e que a média é de 25,8°C.

#### 2.2.4.3. Precipitação (mm)

A distribuição sazonal das chuvas permite-nos identificar claramente a existência de dois períodos bem definidos e característicos. O primeiro é o chuvoso, corresponde aos meses de janeiro a maio, ocasião em que as precipitações atingem a 88,90% do total das chuvas anuais. O segundo, o período de seca, estende-se do mês junho ao mês de dezembro. Neste período, as precipitações registradas chegam a apenas 11,10% do total anual das chuvas.

O período chuvoso, em média, precipita 511,79 mm, ao longo dos anos observados. O total de precipitação anual na média do período observado é de 575,68 mm.

O trimestre mais chuvoso com 375,15mm precipitados, no espaço de tempo observado, é o que vai de fevereiro a abril. Por sua vez, o período mais seco, com média de 3,76 mm corresponde aos meses de agosto a outubro.

O quadro a seguir permite a observação de como as precipitações se distribuem ao longo do ano, bem como, o volume total das chuvas ocorridas.

POSTO DE CROATÁ	MESES												ANO
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
Precipitações (mm)	76,76	84,82	150,68	139,65	59,88	19,66	8,25	1,35	1,15	1,26	5,94	26,29	575,68

#### 2.2.4.4. Umidade Relativa

A umidade relativa máxima de 78%, acontece no mês de abril. O período de umidade relativa máxima vai de janeiro a junho, onde a mesma varia de 60 a 78%.

#### 2.2.4.5. Nebulosidade (0-10)

Não é muito variável ao longo do ano. O período mais nebuloso do ano se concentra nos meses de dezembro a maio, com valores de 5 a 7. O mês mais nebuloso com valor 7,0 é o de março. Por sua vez, o período de pouca nebulosidade vai de junho a novembro, quando varia de 3,0 a 4,0.

#### 2.2.4.6. Insolação (horas e décimos)

A maior insolação ocorre no mês de agosto, com o valor de 275,3. O mês de menor insolação é o mês de abril com 159,7horas, evidentemente, coincide com o mês mais chuvoso do ano. O período de maior insolação vai de julho a dezembro, com média de 250,08. Por sua vez, as menores insolações vão de janeiro a junho, cuja média é de 185,45 horas e décimos.

#### 2.2.4.7. Balanço Hídrico

O balanço hídrico é uma forma de acompanhar o armazenamento de água no solo. O balanço hídrico aqui apresentado fundamenta-se no método de Thornthwaite & Mather (1955), admitindo-se dois critérios: a capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100mm e a evapotranspiração potencial (ETO) pelo método Piché.

Os valores relativos a temperatura dizem respeito a estação climatológica de Crateus e os dados de precipitação do Posto de Croatá.

A figura na página seguinte apresenta o gráfico do balanço hídrico da região de Croatá.

#### 2.2.4.8. Classificação Climática

Serão adotadas as classificações climáticas de Köppen e a de Gaussen, as mais empregadas em estudos pedológicos no Brasil.

Na classificação de Köppen a área levantada se enquadra no tipo climático Bshw - Clima de Estepe Tropical com Seca no Inverno. Apresenta breves períodos de chuvas sazonais (verão) que os leva a serem semi-áridos ao invés de áridos. Neste tipo, a evaporação excede a precipitação.

São climas secos, cuja periodicidade das chuvas é semelhante a das savanas, com a diferença de que a estação seca é mais prolongada e a precipitação total é menor.

A estação úmida vai de janeiro a maio, onde nela caem, em média, 88 a 90% das precipitações pluviométricas anuais.

A estação seca se estende de junho a dezembro.

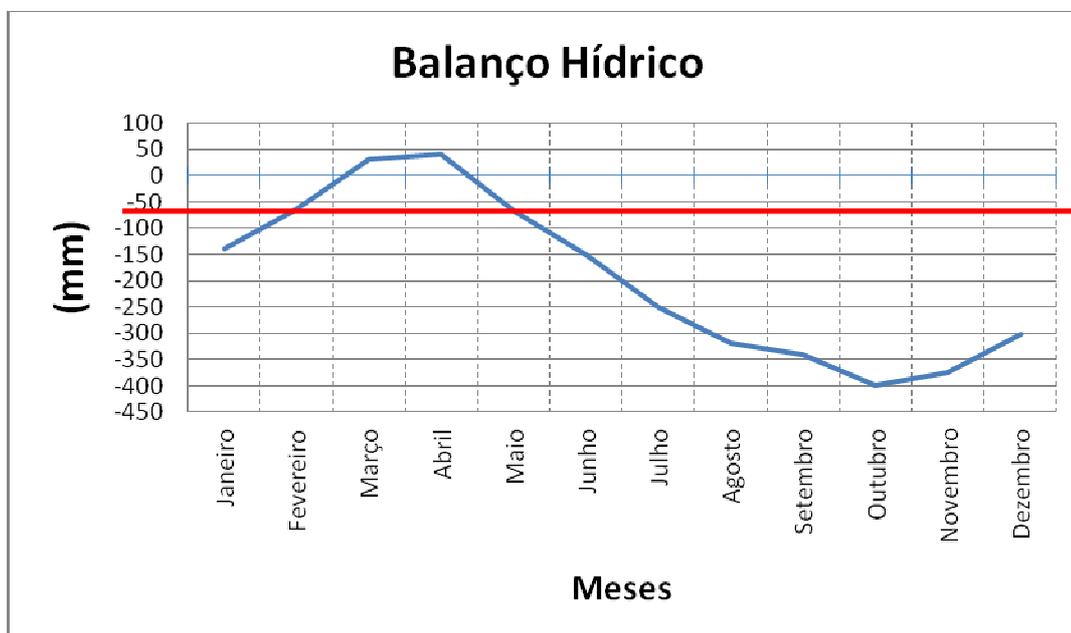
A vegetação é do tipo caatinga hiperxerófila.

A classificação de Köppen fundamenta-se essencialmente nas temperaturas e precipitações. Trata-se de um sistema bastante difundido no Brasil, pela sua praticidade e facilidade de aplicação.

Por sua vez, a classificação de Gaussen considera além do ritmo das temperaturas e precipitações outros aspectos como: os meses mais secos do ano e o índice xerotérmico e, afora isto, correlaciona com mais propriedade, os tipos climáticos e a vegetação natural presente.

A temperatura média do mês mais frio do ano (julho) é superior a 15°C, o número de meses secos do ano é de 7 a 8 meses e o índice xerotérmico 150 a 250. Assim, podemos afirmar que a área pertence a região climática xeroquimênica, sub-região 4aTh - Termoxeroquimênico, tipo climático caráter acentuado, denominado no Brasil de clima tropical quente de seca acentuada.

Este tipo climático predomina no sertão do nordeste onde a vegetação é a caatinga seca (hiperxerófila) rica em cactáceas e bromeliáceas, reflexo da irregularidade das precipitações e a deficiência do balanço hídrico na intensa estiagem de até 8 meses consecutivos.



### 2.3. PEDOLOGIA DA ÁREA LONTRAS (SEMIDETALHE)

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

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

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

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

O levantamento obedeceu as normas adotadas e recomendadas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA, atendendo plenamente o número de observação de tradagens; o número de perfis descritos, coletados e analisados; a precisão dos limites entre manchas de

unidades diferentes e a área mínima a ser mapeada; conforme exige o levantamento no nível acima citado.

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

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

### **2.3.1. Métodos de trabalho**

#### *2.3.1.1. Métodos de Trabalhos de Escritório*

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

Na fase inicial procedeu-se aos seguintes trabalhos:

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

A segunda fase, trabalhos de escritório constou de:

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

### 2.3.1.2. Métodos de Trabalhos de Campo

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

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

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

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

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

Os testes foram localizados nas unidades pedológicas mais expressivas.

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

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

### 2.3.1.3. Métodos de Trabalhos de Laboratórios

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

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

#### Análises Físicas

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

- Umidade a 15 ATM ou 1,5 MPa - método da membrana de tensão de Richards, segundo o U.S.Laboratory.
- Análise Granulométrica - método do decímetro com emprego do hexametáfosfato ou do hidróxido de sódio com dispersante. Foi usado este último.

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

### Análises Químicas

- pH em Água e em KCL - medição por eletrôdo de vidro em suspensão solo - H<sub>2</sub>O e solo - KCL, na proporção solo líquido de 1:2,5.
- Nitrogênio - determinado pelo método colorimétrico.
- Carbono - usou-se o método volumétrico. Oxidação pelo bicromato de potássio, e titulação pelo Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> (SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. 6H<sub>2</sub>O 0,1N com difenilamina como indicador.
- Matéria Orgânica - calculada em função do teor de carbono, pela expressão C x 1,724.
- Relação C/N - obtida pela divisão dos valores de carbono e nitrogênio.
- Cálcio e Magnésio - extraídos com KCL 1N e titulação com EDTA.
- Sódio e Potássio - obtidos através do fotômetro de chama.
- Valor S - calculado pela soma dos valores de cálcio, magnésio, potássio e sódio.
- Hidrogênio - método volumétrico. Extração pelo acetato de cálcio 1N (normal) (pH 7,0) e dosagem pelo hidróxido de sódio.
- Alumínio Trocável - método volumétrico. Extração pelo cloreto de potássio 1N (normal) e titulação com hidróxido de sódio. 0,025 N; com azul bromotimol como indicador.
- Valor T - (capacidade de troca de cátions) - é obtida pela soma do valor S mais H<sup>+</sup> e mais AL<sup>+++</sup>.
- Valor V - (porcentagem de saturação de bases) calculada pela expressão: 100 S/T.
- Percentagem de Sódio no Complexo de Troca - é obtida pela expressão 100 Na<sup>+</sup>/T.
- Percentagem de Alumínio em Relação S<sup>+</sup> (AL<sup>+++</sup>). Calculada pela expressão 100 (AL<sup>+++</sup>)/S + AL<sup>+++</sup>.
- Condutividade Elétrica no Estado de Saturação - é medida na Ponte de Condutividade, no extrato de solo obtido por filtrações a vácuo, depois de feita a determinação da percentagem de saturação.

- Fósforo Assimilável - extraído com HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N e determinado por colorimetria.

### 2.3.2. Solos

Os solos da área estudada foram classificados, a grande maioria como NEOSSOLOS e LATOSSOLOS.

Os NEOSSOLOS, no conjunto, somam 1.451,79 ha e perfazem 46,57 %, os LATOSSOLOS compõem 1402,07 ha equivalentes a 44,97% da área levantada.

Os solos álicos, ocupam uma área de 2.853,86ha ou seja, 91,54% da área total.

Os solos potencialmente irrigáveis são representados por LATOSSOLOS e NEOSSOLOS. Os solos irrigáveis ocupam áreas do relevo com declividades que vão de 0 - 6%. Em geral, são solos de reação ácida, podendo apresentar o caráter álico, e que exigem correção com calcário dolomítico. A fertilidade é baixa, por apresentar níveis limitados dos elementos minerais necessários às plantas. Baixa capacidade de troca de cátions e saturação de bases também baixa. Isto atesta a necessidade ou melhor, revela ser indispensável a aplicação de fertilizantes minerais e orgânicos. Apresentam baixa capacidade de água disponível e elevada permeabilidade principalmente para os NEOSSOLOS que só poderão ser irrigados, com culturas específicas, por gotejamento ou micro-aspersão.

#### 2.3.2.1. Critérios Adotados

Os solos da área levantada, que se limita ao norte pela coordenada 9515698, ao sul na coordenada 9501849, a oeste pela coordenada 286358 e a leste pela coordenada 292122, foram classificados de acordo com as normas adotadas pela EMPRAPA, constantes do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, editado em 1999. A classificação considerou basicamente os horizontes (sub-superficiais) associados a atributos diagnósticos e outros. Para efeito de classificação das ordens, utilizou-se a presença ou ausência de atributos, horizontes diagnósticos ou propriedades que são características identificáveis em campo, reveladoras de diferenças no tipo e grau de desenvolvimento de um conjunto de processos formadores do solo. A classificação em sub-ordens, no fundamento em propriedades ou características diferenciais que refletem a atuação de processos de formação que interferem no processo dominante e ressaltam características responsáveis pela ausência de diferenciação dos horizontes diagnósticos; propriedades resultantes da gênese, importantes para o uso agrícola ou outros; e, propriedades e características importantes das classes das ordens.

Referente aos grandes grupos, estes são separados por uma ou mais características, tais como: tipo e arranjo de horizonte; atividades das argilas; complexo sortivo saturado (bases,

alumínio, sódio ou sais solúveis) e, presença de horizontes ou propriedades restritivos ao desenvolvimento das raízes e/ou o movimento da água no solo.

Os sub-grupos são separados pelas características que representam o conceito central de classe; os conceitos intermediários para o 1º, 2º e 3º níveis categóricos (ordens, subordens e grandes grupos); e, características extraordinárias dos solos.

A família é definida com base em propriedades físicas, químicas e mineralógicas e, em propriedades que refletem o meio ambiente.

As séries são características relacionadas ao desenvolvimento das plantas, relações solo-água-planta.

O presente relatório, para fins de classificação dos solos, fez uso do Sistema de Classificação de Solos até o 5º nível categórico ou seja, até a classificação a nível de famílias, acrescentando a estas, critérios para distinção de fases das unidades de mapeamento. Portando, suficiente, ao tipo de levantamento Pedológico a nível de Semi-Detalhe.

Assim, a condição para atingir o nível de Semi-Detalhe Pedológico foi plenamente satisfeita inclusive, superando todas as exigências técnicas reclamadas.

Para separação das ordens (1º NÍVEL CATEGÓRICO) fez-se uso dos conceitos para LATOSSOLOS e NEOSSOLOS, presentes na área do levantamento.

No 2º Nível CATEGÓRICO (Sub-ordens) foram empregados os seguintes caracteres, verificados em campo e/ou em laboratório:

- Amarelos - para os LATOSSOLOS
- Quartzarênicos - para os NEOSSOLOS

Para os grandes Grupos - 3º NÍVEL CATEGÓRICO foram considerados os termos abaixo:

- Distróficos (saturação de bases  $V < 50\%$ ) - para LATOSSOLOS AMARELOS
- Órtico - para os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS
- Caráter álico - para os LATOSSOLOS AMARELOS e os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS
- Psamítico - para os LATOSSOLOS AMARELOS

A nível de subgrupo, 4º NÍVEL CATEGÓRICO, foram considerados os aspectos a seguir:

- Típico - para LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos e os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos

Além dos critérios considerados para a classificação dos solos a nível de subgrupo, para atingir-se o 5º NÍVEL CATEGÓRICO - Famílias, empregou-se as seguintes características diferenciais:

### **Profundidade**

Muito profundo - para os LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos psamíticos álicos, e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órtcos álicos típicos.

Profundos - para os LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos.

### **Grupamento Textual**

Textura Arenosa - para os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos.

Textura Média – para os LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, e LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos psamíticos álicos.

### **Drenagem**

Acentuadamente Drenados - para os LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, e LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos psamíticos álicos.

Fortemente Drenados – para os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos.

### **Relevo**

Plano - para os LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos psamíticos álicos e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos.

Suave ondulado - para os LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos psamíticos álicos e NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos.

#### *2.3.2.2. Legenda de Classificação*

- LAAd1 - LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, muito profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo plano. (perfil 05).
- LAAd2 - LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, muito profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo suave ondulado (perfis 01, 04, 08 e 17 ).
- LAAd3 - LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos psamíticos álicos, muito profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo plano (perfil 10 ).
- LAAd4 - LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos psamíticos álicos, muito profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo suave ondulado (perfil 09 ).

- LA<sub>d5</sub> - LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo suave ondulado (perfil 16 )..
- RQ<sub>o1</sub> - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos, muito profundos, fortemente drenados, relevo plano. (perfis 02, 03, 06,11, 13, 15 e 19).
- RQ<sub>o2</sub> - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos, fortemente drenados, relevo suave ondulado. (perfis 07, 12, 18, 20 e 21).
- RQ<sub>o3</sub> - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos profundos, fortemente drenados, relevo suave ondulado. (perfil 14).
- Af - Afloramentos rochosos e/ou solo raso (NEOSSOLOS LITÓLICOS)

### 2.3.2.3. Descrição das Classes de Solos e Unidades

#### **Latossolos**

Esta ordem compreende solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico, não hidromórficos, sob qualquer dos tipos de horizontes diagnósticos superficiais, exceto H hístico.

Os latossolos apresentam avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material constitutivo (salvo materiais pouco alteráveis). Estes solos tem baixa capacidade de troca de cátions, inferior a 17 cmolc/kg de argila sem correção para carbono, comportando variações desde os solos predominantemente cauliniticos até solos oxidicos.

São normalmente de drenagem variável de fortemente a bem drenados. Quase sempre são muito profundos, sendo a espessura dos horizontes A + B maior que 100 cm. A seqüência de horizontes nos perfis é A, B e C, com pouca diferenciação de horizontes e transições entre os mesmos difusas ou graduais. O horizonte A tem cores mais escuras e o B cores mais vivas, variando desde amarelas ou mesmo bruno acinzentadas até vermelho escuro acinzentadas. Na área estudada as cores são restritas ao amarelo. O incremento da argila do A para o B é pouco expressivo e a relação textural B/A não atende os requisitos para um B textural (característico dos ARGISSOLOS). Os teores de argila no solo (A + B) aumentam gradativamente com a profundidade ou permanecem constantes ao longo do perfil. A mobilidade das argilas no horizonte B é baixa, ressalvados os comportamentos atípicos.

Em geral, são solos fortemente ácidos, com baixa saturação por bases (distróficos) poucas vezes com alta saturação por bases (eutróficos), álicos ou não. Solos com média ou alta saturação por bases são encontradas em zonas com pronunciada estação seca, semi-áridas ou não, como também, em solos originados a partir de rochas básicas.

Os latossolos são típicos de regiões equatoriais e tropicais, podendo ocorrer em zonas subtropicais. Estão distribuídos em amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, ocupando normalmente relevo plano ou suave ondulado.

Na área do projeto encontramos unidades de solos, apenas para a subordem: AMARELOS.

Os LATOSSOLOS representam 5 (cinco) unidades de solos na área deste levantamento que estão descritas no ANEXO II-1.

### Neossolos

Esta ordem compreende solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso com pequena expressão dos processos pedogenéticos, em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos, que não efetuaram ainda, modificações expressivas do material originário, de características do próprio material, pela sua resistência a intemperismo ou composição química, e do relevo, que podem impedir ou limitar a evolução destes solos.

Apresentam seqüência de horizonte A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr, A-C, O-R ou H-C sem atender os requisitos para serem enquadrados nas classes Chernossolos, Vertissolos, Plintossolos, Organossolos ou Gleissolos. A classe admite vários tipos de horizontes superficiais, inclusive O ou H hístico, com menos de 30 cm de espessura, quando subjacente à rocha ou a material mineral.

Alguns solos tem horizonte B com fraca expressão dos atributos (cor, estrutura ou acumulação de minerais secundários e/ou colóides), não se enquadrando em qualquer tipo de horizonte B diagnóstico.

São solos constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 30cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico e satisfazendo os requisitos a seguir:

- Ausência de horizonte gley, exceto no caso de solos com textura areia franca, dentro de 50 cm da superfície do solo, ou entre 50 cm e 120 cm de profundidade, se os horizontes subjacentes apresentarem mosqueados de redução, em quantidade abundante;
- Ausência de horizonte vértico imediatamente abaixo de horizonte A;
- Ausência de horizonte plíntico dentro de 40 cm, ou dentro de 200cm da superfície, se imediatamente abaixo de horizonte A, E ou precedidos de horizontes de coloração pálida, variegada ou com mosqueado em quantidade abundante, com uma ou mais das seguintes cores:
  - Matiz 2,5Y ou 5Y; ou
  - Matizes 10YR a 7,5YR com cromas baixos, normalmente iguais ou inferiores a 4, podendo atingir 6, no caso de matiz 10YR; e

– Ausência do horizonte A chemozêmico conjugado a horizonte cálcico ou C carbonático. Na área do projeto encontrou-se 3 (três) unidades de solos, no caso, pertencente à subordem dos NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS (Areias Quartzosas) , cuja descrição encontra-se no ANEXO II-2.

#### 2.3.2.4. Quadro de Distribuição das Unidades de Solos

UNIDADES		ÁREA (ha)	%
LAd1	- LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, muito profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo plano.	425,40	13,64
LAd2	- LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, muito profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo suave ondulado.	477,03	15,30
LAd3	- LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos psamíticos álicos, muito profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo plano.	211,05	6,78
LAd4	- LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos psamíticos álicos, muito profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo suave ondulado.	192,50	6,18
LAd5	- LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos álicos típicos, profundos, textura média, acentuadamente drenados, relevo suave elevado.	96,09	3,08
RQo1	- NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos, muito profundos, fortemente drenados, relevo plano.	804,16	25,80
RQo2	- NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos, muito profundos, fortemente drenados, relevo suave ondulado	606,17	19,45
RQo3	- NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos álicos típicos, fortemente drenados, relevo suave ondulado.	41,46	1,33
Af	- Afloramentos rochosos e/ou solos rasos (NEOSSOLOS LITÓLICOS)	263,61	8,46
<b>TOTAIS</b>		<b>3.117,47</b>	<b>100,00</b>

#### 2.3.2.5. Fertilidade

A fertilidade de um solo é avaliada pela disponibilidade dos elementos essenciais ao desenvolvimento das plantas (N-P-K) mais os níveis de cálcio e magnésio e mais, a soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação de bases. Acrescenta-se a reação do solo (pH em água), a presença de alumínio livre (%), o sódio trocável (%) e a condutividade elétrica (umhos). Isto tudo sem se falar dos micro-elementos boro, cobre, ferro, manganês, zinco e enxofre, que as vezes são considerados.

A fertilidade do solo neste trabalho, foi apreciada tendo-se em mente avaliar os dados analíticos acima citados, até a profundidade de 50/60 cm. O comportamento a ser dedicado aos solos, com respeito à fertilidade não pode ficar restrito a camada superficial (25 cm), até porque, a vocação cultural dos mesmos tem a fruticultura como um tipo de exploração adequada. Assim, qualquer intervenção no sentido de corrigir os solos e fertilizá-los exige que as camadas de profundidade até 50/60 cm sejam consideradas.

Na correção do pH ácido e/ou do caráter álico há de se ter atenção no caso dos solos de textura arenosa, para que não sejam aplicadas doses maciças de calcário dolomítico e que a mistura do mesmo com areia e a água possa formar algum tipo de argamassa.

Não recomendamos doses de calcário acima de 2.000 kg/ha, de uma só vez.

Está evidenciado que as camadas de profundidades superiores a 30 cm tem reação mais ácida e podem apresentar alicidade. Portanto, deve-se aplicar uma dose menos forte de calcário na superfície do solo e com aradagem (30 cm) revira-lo e aplicar a dose mais forte no solo subsuperficial que vai à superfície e, passar a grade de discos em seguida, para misturar o calcário com o solo.

Na fertilização dos solos com nitrogênio e potássio é preciso que seja parcelada a aplicação dos mesmos, posto que, na grande maioria das unidades de solo, a permeabilidade é alta e certamente, lixiviara grande parte destes fertilizantes minerais.

A aplicação dos fertilizantes minerais só deve ser após a constatação da correção do pH e/ou neutralização do alumínio livre.

O emprego da adubação orgânica é da maior importância para os solos da área. A matéria orgânica desempenhará funções importantíssimas, assim é que, melhora as características morfológicas do solo, eleva a capacidade de troca de cátions, reduz a lixiviação, aumenta a capacidade de água disponível, ativa a atuação dos micro-organismo, reduz a quantidade de água de irrigação e diminui o custo com energia elétrica.

Contribui também, para a manutenção da integridade e até mesmo, para a fertilidade do solo, algumas práticas conservacionistas como: limpas seletivas, incorporação de material orgânico e mulching. As limpas em faixa alternadas para plantios lineares ou limpas apenas sob a copa das espécies arbóreas e roço entre as mesmas, com posterior deposição do mato roçado sob as copas das arvores, se constituem no que denominamos de limpas seletivas.

Os parâmetros considerados serão apresentados adiante. Os dados referentes à fertilidade, foram obtidos pelas análises procedidas em amostras de solos coletadas em campo (nos perfis descritos) e representam a média dos mesmos, para a profundidade esboçada.

Assim, poderíamos dizer que o elemento nitrogênio é considerado em níveis 100% baixos das amostras analisadas. O fósforo por sua vez, é muito baixo em 97% e baixo em 3% do total das amostras; O potássio se apresenta com 79% em níveis baixos e 21% em níveis médios. O comportamento do cálcio se revela com 100% baixo, assim como o magnésio.

Os valores de soma de bases apresentam a seguinte distribuição percentual: muito baixo (68%) e (32%) baixo.

A capacidade de troca de cátions é 100% baixa, assim como, a saturação de bases.

Para o pH (em água) a distribuição percentual é a seguinte: fortemente ácido 97% e moderadamente ácido (3%).

O alumínio livre que caracteriza a condição álica, atende esta situação em 68% das amostras, sendo que em 32% dos resultados obtidos não se verifica a alicidade.

O percentual de sódio trocável, utilizado para verificar a questão de alcalinidade, se mostra em 100% dos dados com níveis muito baixos, isto é, sem revelar sodicidade.

Os solos também não apresentam salinidade pois, em 100% das amostras, o valor da CE (ummos) é zero. Sem salinidade.

Portanto, concluí-se que para a camada considerada da (50/60cm), a fertilidade fica comprometida com relação aos elementos essenciais. Também contribuem para que a fertilidade seja baixa, a soma de bases 68% muito baixa. Baixa (63%), a capacidade de troca de cátions e, saturação de bases em 100% das amostras. 32% é baixa.

Os parâmetros adotados para avaliação da fertilidade dos solos foram os seguintes:

Nitrogênio (g/Kg)	baixo	médio	alto		
	<0,80	0,80 a 1,40	>1,40		
Fósforo (mg/dm <sup>3</sup> )	muito baixo	baixo	médio	adequado	alto
	0 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 - 12,0	12,0 - 18,0	>18,0
Potássio (mE/100ml)	baixo	médio	alto		
	<0,06	0,06 a 0,13	>0,13		
Cálcio (mE/100ml)	baixo	médio	alto		
	<2,0	2,0 a 5,0	>5,0		
Magnésio (mE/ml)	baixo	médio	alto		
	<0,4	0,4 a 1,2	>1,2		
pH (em água)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• extremamente ácido - menor que 4.3</li> <li>• fortemente ácido - entre 4.3 e 5.3</li> <li>• moderadamente ácido - entre 5.4 e 6.5</li> <li>• praticamente neutro - entre 6.6 e 7.3</li> <li>• moderadamente alcalino - entre 7.4 e 8.6</li> </ul>				

Soma de Bases	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fortemente alcalino - maior que 8.3 (mE/100ml)</li> <li>• muito baixa - &lt;0,61</li> <li>• baixa - 0,61 a 1,80</li> <li>• média - 1,81 a 3,60</li> <li>• boa - 3,61 a 6,00</li> <li>• muito boa - &gt;6,00</li> </ul>
Capacidade de Troca de Cátions (sem correção para cárbono)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• baixa - &lt; 17,0</li> <li>• média - entre 17,0 e 27,0</li> <li>• alta - &gt;27,0</li> </ul>
Saturação de Bases (%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- &lt; 50% - baixa</li> <li>≥ 50% - alta</li> </ul>
CE (ummos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sem salinidade - &lt; 4,0</li> <li>• salino - entre 4,0 e 7,5</li> <li>• sálico - &gt; 7,5</li> </ul>
Sódio Trocável (Na%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sem sodicidade - &lt; 6,0%</li> <li>• solódico - entre 6,0 e 15,0%</li> <li>• sódico - &gt; 15,0%</li> </ul>
Alumínio (%)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• até 50% - sem alicidade</li> <li>≥ 50% - álico</li> </ul>

### 2.3.2.6. Dados Analíticos Considerados para Interpretação da Fertilidade dos Solos

PERFIS	N g/kg	P205 mg/dm <sup>3</sup>	K mE/100ml	Ca mE/100ml	Mg mE/100ml	S mE/100ml	T mE/100ml	V %	pH cm água	CE umhos	AL+++ %	Na %
1	0,08	1,0	0,04	0,3	0,1	0,40	3,15	13	4,9	0	63	0,36
2	0,07	1,1	0,03	0,2	0,1	0,39	2,28	17	4,5	0	54	0,49
4	0,04	0,6	0,03	0,4	0,1	0,54	2,69	20	4,6	0	54	0,39
5	0,06	1,2	0,06	0,4	0,1	0,57	3,27	18	4,6	0	55	0,37
6	0,03	0,4	0,02	0,3	0,1	0,38	2,28	17	4,7	0	63	0,45
7	0,13	0,6	0,11	0,4	0,1	0,57	2,37	24	4,6	0	48	0,43
8	0,08	0,5	0,07	0,7	0,2	0,88	2,78	32	5,3	0	29	0,37
10	0,05	1,0	0,07	0,5	0,1	0,63	2,16	23	4,8	0	45	0,41
11	0,11	4,2	0,05	0,4	0,1	0,51	3,06	18	4,6	0	58	0,39
12	0,09	0,7	0,05	0,5	0,1	0,61	2,91	22	5,1	0	37	0,46
15	0,05	0,5	0,04	0,3	0,1	0,45	2,60	18	4,7	0	57	0,44
17	0,03	1,3	0,03	0,3	0,1	0,43	2,28	19	4,8	0	60	0,45
18	0,13	0,8	0,04	0,4	0,1	0,54	2,49	22	5,0	0	56	0,43
19	0,05	0,9	0,05	0,3	0,1	0,40	2,25	18	4,8	0	60	0,47
20	0,05	0,8	0,02	0,3	0,1	0,38	1,93	20	4,7	0	65	0,52

### 2.3.2.7. Capacidade de Água Disponível

Unidade	Perfil	Espessura (mm)		Densidade do Solo	Água Útil (%)	Capacidade de Água Disponível (mm/%)	Valor Acumulado (mm/%)
		Simplex	Acumulada				
LAd1	05	300	300	1,49	7,6	33,97	33,97
		330	630	1,49	5,6	27,53	61,50
		570	1200	1,73	7,1	70,01	131,51
LAd2	01	230	230	1,55	6,3	22,46	22,46
		720	950	1,46	5,1	53,61	76,03
		480	1200	1,62	6,9	53,65	129,68
	04	210	210	1,57	4,2	13,85	13,85
		380	590	1,59	4,3	25,98	39,83
		610	1200	1,58	3,5	33,73	73,56
	08	190	190	1,41	7,6	20,36	20,36
		430	620	1,50	6,3	40,63	60,99
		580	1200	1,57	4,8	43,71	104,70
	17	260	260	1,61	1,6	7,00	7,00
		460	720	1,58	1,5	10,90	17,90
		480	1200	1,57	1,3	9,80	27,70
LAd3	10	180	180	1,60	2,3	6,62	6,62
		700	880	1,50	0,9	9,45	16,07
		320	1200	1,51	0,9	4,35	20,42
RQ01	02	190	190	1,57	3,9	11,63	11,63
		330	520	1,54	3,2	16,26	27,89
		680	1200	1,72	4,7	54,97	82,86
	06	380	380	1,57	4,8	28,64	28,64
		730	1110	1,52	6,0	66,58	95,22
		90	1200	1,57	5,8	8,19	103,41
	11	200	200	1,49	0,4	1,19	1,19
		270	470	1,45	4,7	32,03	33,22
		730	1200	1,61	0,4	4,70	37,92
	15	240	240	1,45	0,6	2,09	2,09
		300	540	1,59	0,3	2,58	4,67
		660	1200	1,52	1,1	11,03	15,07
	19	240	240	1,59	0,1	0,38	0,38
		350	590	1,61	0,1	0,56	0,94
		610	1200	1,64	0,8	8,00	8,94
RQ02	07	170	170	1,49	3,2	8,11	8,11
		380	550	1,57	0,6	3,58	11,69

Unidade	Perfil	Espessura (mm)		Densidade do Solo	Água Útil (%)	Capacidade de Água Disponível (mm/%)	Valor Acumulado (mm/%)
		Simplex	Acumulada				
		610	1160	1,62	2,5	24,70	36,39
		40	1200	1,48	7,8	4,62	41,01
	12	270	270	1,49	0,3	1,21	1,21
		420	690	1,50	0,6	3,78	4,99
		510	1200	1,47	0,9	6,75	11,74
	18	180	180	1,64	0,3	0,88	0,88
		420	600	1,62	0,5	3,40	4,28
		600	1200	1,61	0,5	4,83	9,11
	20	380	380	1,52	0,6	3,47	3,47
		750	1130	1,56	0,5	5,85	9,32
		70	1200	1,51	1,7	1,80	11,12

### 2.3.2.8. Infiltração

O estudo da infiltração na área do Projeto Ibiapaba-Lontras, foi realizado basicamente nas unidades de solos considerados potencialmente irrigáveis.

Os testes foram executados ao lado dos perfis de solos descritos, coletados e analisados.

Os testes de infiltração realizados cobriram 05 (cinco) das 08 (oito) unidades identificadas, classificadas e mapeadas, onde se situam as principais quantitativa e geograficamente expressivas. Portanto, 62% das unidades foram submetidas a este tipo de teste.

O teste de infiltração permite avaliar o comportamento do movimento da água no interior do solo. O deslocamento vertical da água no solo tem estreita relação com a composição granulométrica do solo, características das camadas e sua seqüência (estrutura, compactação, grau de agregação, porosidade, atividade dos organismos vivos), lâmina da água empregada, teor de umidade do solo, manejo do solo, tipo de exploração agrícola (se for o caso) e outros fatores.

O método do infiltrômetro com anéis concêntricos foi utilizado para a realização dos testes. Todos os testes foram feitos em solos com graus de umidades diversificados e nenhum foi procedido em solo seco.

A maioria dos resultados obtidos, alcançou velocidades de infiltração superiores a 200mm/h na estabilização, classificadas portanto como muito rápidas. Muito deles apresentaram infiltrações estabilizadas extremamente rápidas, que teoricamente deveriam excluir os solos onde os testes foram realizados, de qualquer tipo de exploração com irrigação. Ocorre que, resolvemos considerar tais solos irrigáveis, porque solos com infiltrações semelhantes estão sendo cultivadas

com produções satisfatórias em projetos de irrigação como: Curu/Paraipaba-CE, Baixo Acaraú-CE, Tabuleiro de Russas-CE e outros. Assim é que, 1 (um) dos testes, ou seja, 20% superam a velocidade de infiltração estabilizada de 250mm/h. Foram classificadas na classe de infiltração rápida (125-250)mm/h, 4 (quatro) testes que representam 80% do total dos testes.

Pode-se concluir que, de um modo geral, os solos apresentam infiltração rápida a muito rápida. Esta conclusão, atestada pelos testes realizados, justifica-se por a área apresentar solos com predomínio da fração areia, especialmente areia grossa, insignificante participação da partícula silte, argila do grupo caulinita, muita porosidade, friabilidade, etc.

No ANEXO II-3, são apresentadas as planilhas dos testes realizados e os respectivos gráficos de infiltração.

### **2.3.3. Classes de terras para irrigação**

#### *2.3.3.1. Classificação Adotada*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 2.3.3.2. *Definição Geral das Classes de Terras para Irrigação*

As classes estabelecidas pela classificação do BUREC são assim definidas:

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

drenagem, bem como remoção de vegetação arbórea ou pequena pedregosidade. Esta classe apresenta capacidade de pagamento intermediária.

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

### Classes de Uso Especial

- **Classe S** - Apta para irrigação por aspersão, gotejamento ou métodos similares, inclui terras aráveis, que apresentam características que as tornam impróprias para irrigação gravitativa, como topografia movimentada e texturas grosseiras, que propiciam altas taxas de infiltração,

sendo, porém, irrigáveis por aspersão ou métodos similares. Em função da escassa disponibilidade de recursos hídricos na área e da ocorrência de solos com riscos de erosão e outros, as terras foram classificadas para uso especial com irrigação por aspersão, tendo-se diferenciado a seguintes classes.

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

### **Subclasses**

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

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

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

#### De solo (S)

- y – fertilidade natural baixa
- i – alta taxa de infiltração
- v – textura muito grossa
- q – baixa capacidade de água disponível.

#### De Topografia (t)

Não apresenta limitações

#### De Drenagem (d)

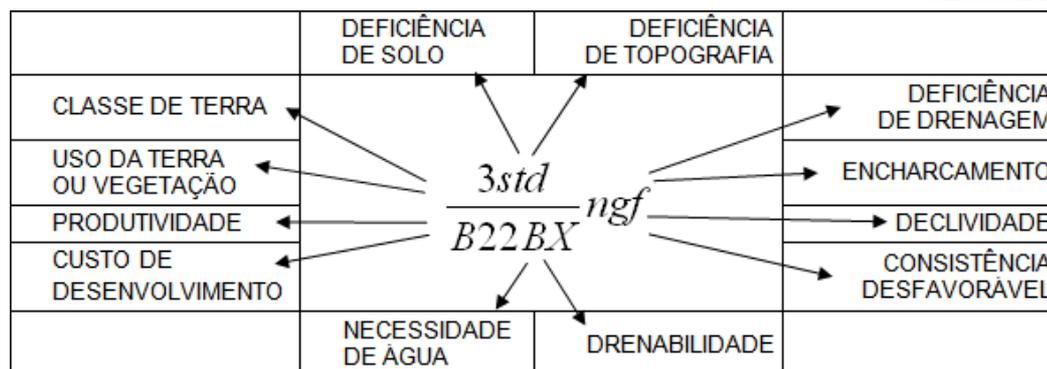
w – não apresenta limitações

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

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

### 2.3.3.3. *Representação Cartográfica*

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



### 2.3.3.4. Legenda de Classificação das Terras para Irrigação

Classes e Subclasses	Aptidão	Área (ha)	%
$\frac{S2s}{B(L)23CX}^{yi}$	Apta, apenas para irrigação por aspersão, gotejamento ou métodos similares, com limitações relativas à baixa fertilidade, baixa capacidade de água disponível e elevada permeabilidade.	1.209,57	38,80
$\frac{S3s}{B(L)23CX}^{yiq}$	Apta, apenas para irrigação por aspersão, gotejamento ou métodos similares, com limitações moderadas relativas à textura arenosa, baixa fertilidade, baixa capacidade de água disponível e alta permeabilidade.	1.644,29	52,74
6s	Não arável.	263,61	8,46
<b>TOTAIS:</b>		<b>3.117,47</b>	<b>100,00</b>

### 2.3.3.5. Descrição das Classes e Sub-Classes de Terras para Irrigação

#### Classe S2

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

#### Sub-classe

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

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

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

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

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

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

### Classe S3

#### Sub-classe

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

A sub-classe é constituída pelos solos das unidades LAd<sub>4</sub>, RQo<sub>1</sub>, RQo<sub>2</sub> e RQo<sub>3</sub>, que em conjunto reúnem 1.644,29 ha equivalentes a 52,74% da área total levantada.

Os solos, em sua maioria, ocupam relevo plano ou suave ondulado. São muito profundos, quase sempre fortemente drenados ou acentuadamente drenados, como no caso do LAd<sub>4</sub>.

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

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

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

A mecanização agrícola pode ser praticada sem preocupações.

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

### Classe 6

#### Sub-classe

6s

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

### 2.3.3.6. Quadro Resumo

Unidade de Solo	Classe de Terra para Irrigação	ÁREA (ha)	%	Fatores Limitantes	Aptidão Cultural	Método de Irrigação
LAd <sub>1</sub>	$\frac{S_{2s}}{B(L)23CX} yi$	425,40	13,64	Baixa fertilidade, pH fortemente ácido, caráter álico, baixa capacidade de troca de cátions, baixa capacidade de água disponível e elevada permeabilidade.	Côco, acerola, goiaba, mamão, abacaxi, citrus, melancia, melão, uva, manga, maracujá, abóboara, abobrinha, alface, beterraba, berinjela, cenoura, coentro, couve, couve flor, pimentão, repolho, tomate, amendoim, cana, gergelim, girassol, cajá, pimenta do reino, dendê, feijão, forrageiras (capins e leguminosas) e outras.	Irrigação localizada, especialmente gotejamento e micro-aspersão. Outros métodos: aspersão, canhão etc. Impróprio para gravidade.
LAd <sub>2</sub>	$\frac{S_{2s}}{B(L)23CX} yi$	477,03	15,30	Acidez, baixa fertilidade, elevada acidez, baixa capacidade de troca de cátions, elevada taxa de infiltração.	Todos as fruteiras adaptadas ou adaptáveis à região como: abacaxi, acerola, abacate, banana, citrus, figo, graviola, maracujá, manga, melão, melancia, etc. Hortaliças dentre elas: aspargo, alface, beterraba, couve, couve flor, coentro, cebolinha, espinafre, cenoura, nabo, abóbora, repolho, pimenta, pimentão, tomate e outras. Amendoim, gergelim, girassol, cana, pimenta do reino, dendê, mamona, soja, feijão, etc. Capins diversos e leguminosas.	Todos os métodos, menos o da gravidade
LAd <sub>3</sub>	$\frac{S_{2s}}{B(L)23CX} yi$	211,05	6,78	Acidez, forte acidez, baixa fertilidade. Alta permeabilidade e baixa capacidade de água disponível	Dar preferência a culturas já adaptadas e pouco exigentes como: côco, caju, manga, goiaba, melancia e outras fruteiras. Hortaliças de sistema radicular superficial como: alface, couve, coentro, cebolinha, cenoura, beterraba, espinafre, couve-flor e repolho. Também, podem ser cultivados o tomate, a berinjela e o pimentão.  Outras culturas: cana, gergelim, mamona, girassol, soja, etc. Forrageiras: capins diversos e leguminosas.	Recomendável: gotejamento e micro-aspersão. Para culturas específicas, pode-se usar a aspersão e o canhão.

Unidade de Solo	Classe de Terra para Irrigação	ÁREA (ha)	%	Fatores Limitantes	Aptidão Cultural	Método de Irrigação
LAd <sub>4</sub>	$\frac{S3s}{B(L)23CX}^{yiq}$	192,50	6,18	Textura grosseira, acidez forte, acidez e fertilidade baixa, infiltração muito elevada.	Fruteiras: acerola, abacaxi, abacate, banana, côco, caju, citrus, figo, goiaba, graviola, melão, melancia, manga, maracujá, sapoti, uva, etc. Hortaliças: abóbora, abobrinha, aspargo, acelga, alface, berinjela, beterraba, cenoura, couve-flor, coentro, cebolinha, espinafre, nabo, pimenta, pimentão, salsa, tomate e outras. Outras culturas: Amendoim, gergelim, cana, girassol, dendê, etc. Forrageiras: capins diversos e leguminosas.	Exceto irrigação por gravidade.
LAd <sub>5</sub>	$\frac{S2s}{B(L)23CX}^{yi}$	96,09	3,08	Baixa fertilidade (elementos essenciais) capacidade de troca de cátions e pH fortemente ácido. Baixa capacidade de água disponível. Taxa de infiltração alta.	Abacate, acerola, abacaxi, banana, citrus, côco, caju, figo, graviola, goiaba, manga, melancia, melão, mamão, maracujá, sapoti, uva, abóbora, abobrinha, aspargo, beterraba, berinjela, couve-flor, couve, coentro, cebolinha, cenoura, espinafre, nabo, pimenta, pimentão, repolho, salsa, tomate, cana, dendê, girassol, gergelim, mamona, pimenta do reino, soja, leguminosas e capins diversos.	Irrigação localizada, principalmente gotejamento e micro-aspersão. Conforme a cultura a ser explorada pode-se empregar a aspersão e o canhão.
RQo <sub>1</sub>	$\frac{S3s}{B(L)23CX}^{yiq}$	404,16	25,80	Textura arenosa. Baixa fertilidade, pequena capacidade de troca de cátions e pH fortemente ácido. Infiltração muito elevada.	Fruteiras: abacate, acerola, abacaxi, banana, citrus, figo, graviola, goiaba, manga, maracujá, melancia, melão, mamão, côco, uva e outras exploradas ou adaptáveis á região. Hortaliças: couve, couve-flor, cebolinha, coentro, espinafre, abóbora, abobrinha, aspargo, repolho, nabo, pimentão, pimenta, berinjela, tomate e outras. Outras culturas: cana, dendê, gergelim, girassol mamona, soja, pimenta do reino, feijão, etc.	Irrigação localizada ou por aspersão ou canhão. Proibido para irrigação por gravidade.

Unidade de Solo	Classe de Terra para Irrigação	ÁREA (ha)	%	Fatores Limitantes	Aptidão Cultural	Método de Irrigação
RQo <sub>2</sub>	$\frac{S3s}{B(L)23CX} yiq$	606,17	1945	Textura arenosa. Forte acidez, caráter álico, baixa fertilidade, inclusive, baixa capacidade de troca de cátions. Baixa capacidade de água disponível. Taxa de infiltração elevada.	Fruteiras: todas as práticas na região e as adaptáveis as condições ambientais. Hortaliças: verduras em geral, tubérculos (beterraba, cenoura, nabo, etc). Oleaginosas: gergelim, girassol, mamona, soja, dendê, etc. Outras culturas: cana, pimenta do reino, mandioca, feijão, etc. Forrageiras: capins e leguminosas.	A irrigação por gravidade não é permitida. Qualquer outro método, principalmente micro-aspersão e gotejamento.
RQo <sub>3</sub>	$\frac{S3s}{B(L)23CX} yiq$	41,46	1,33	Forte acidez, caráter álico e baixa fertilidade. Baixa capacidade de água disponível. Infiltração muito elevada.	Acerola, melão, melancia, banana, caju, cajá, manga, maracujá, abacaxi, graviola, goiaba, etc. Verduras: alface, acelga, coentro, cebolinha, couve-flor, couve, espinafre, repolho, abobora, abobrinha, pimentão e outras. Industriais: cana, soja, etc Forrageiras: capins e leguminosas.	Irrigação, por gravidade é proibida. A irrigação localizada é mais indicada, principalmente gotejamento é micro-aspersão.

### **2.3.4. Conclusões e Recomendações para Área Lontras**

#### *2.3.4.1. Conclusões*

- A grande maioria dos solos da área do estudo apresentam condições de serem irrigados. São 2.853,86 ha equivalentes a 91,54% da área total.
- Para os solos irrigáveis, tiram-se as seguintes conclusões abaixo listadas:
  - 1- A irrigação não pode ser praticada por gravidade.
  - 2- Os aspectos favoráveis dizem respeito à topografia plana e suave ondulada, solos muito profundos, não existe problema de drenagem, os solos não correm risco de salinidade e nem alcalinidade.
  - 3- Os aspectos desfavoráveis são a baixa capacidade de água disponível, as altas taxas de infiltração da água nos solos de textura arenosa ou média, a fertilidade baixa, combinada com o caráter álico.
  - 4- A mecanização agrícola pode ser praticada sem restrições, nas áreas de relevo plano, porém são plenamente dispensáveis.
  - 5- Os métodos de irrigação localizada são os mais indicados, especialmente gotejamento e micro-aspersão.
  - 6- A grande maioria das unidades de solo apresenta ampla aptidão cultural.
  - 7- A vocação natural dos solos está voltada para fruticultura e horticicultura e culturas anuais que se comportam bem em solos, friáveis e muito porosos, podem ser cultivadas com sucesso.
  - 8- É fundamental o uso da matéria orgânica nos solos.
  - 9- As áreas a serem projetadas para a irrigação dispõem sistemas artificiais de drenagem.
  - 10- Os solos não dispõem correção com calcário dolomítico e adubações minerais.
  - 11- Os solos apresentam em teoria, condições favoráveis à erosão posto que, são friáveis e arenosos em superfícies, porém a condição de relevo plano praticamente neutraliza esta possível susceptibilidade. Na parte de relevo suave ondulado e pendentes, deve-se adotar práticas conservacionistas, como curvas de níveis e limpas em faixas alternadas. A erosão principal, se é que podemos nos referir assim, ocorre por lixiviação dos elementos químicos dos solos.

12- A baixa fertilidade dos solos tem a ver com a própria composição da rocha arenítica que constitui o material de origem. A argila dos solos é do grupo das caulinitas (1:1); os baixos valores da soma de bases, capacidade de troca de cátions e saturação de bases; muito baixos níveis de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio, associados a altos percentuais de alumínio livre, conduzem os solos a uma baixa fertilidade.

#### 2.3.4.2. *Recomendações (para os Solos Irrigáveis)*

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

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

#### **2.4. PEDOLOGIA DA AREA INHUÇU (RECONHECIMENTO)**

O levantamento pedológico, ao nível de reconhecimento, foi executado na área denominada “Inhucú”, localizada á jusante do açude homônimo, a ser construído em conseqüência dos presentes estudos de Viabilidade da Ibiapaba.

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

A área objeto do estudo abrange terras pertencentes ao município de Croatá no estado do Ceará. Esta área totalizou 1.993 ha dos quais 972 ha são considerados irrigáveis, ou seja 48,77%, por métodos gravitacionais.

Os principais solos da área são os NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS.

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

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

Por tanto, o levantamento pedológico ora apresentado cumpriu todas as exigências, normas, critérios, etc. praticados no Brasil e inclusive, ofereceu dados e recomendações fundamentais

para o manejo racional e ecológico dos solos, com vistas à obtenção de produções elevadas e auferimentos de lucros satisfatórios, em possíveis projetos de irrigação a serem implantados na área.

### **2.4.1. Métodos de trabalho**

#### **2.4.1.1. Trabalhos de Escritório**

Compreendem uma fase prévia aos trabalhos de campo e outra posterior aos mesmos.

Os trabalhos da fase inicial consistiram de:

- Análise da informação existente, de interesse para o estudo;
- Seleção do material cartográfico, cartas da SUDENE na escala 1:100.000;
- Seleção de material aerofotográfico, basicamente Imagem de Satélite Google na escala 1:10.000, com curvas de nível espaçadas a cada 10 metros;
- Seleção de itinerários e locais para os trabalhos de campo: perfis em trincheiras, tradagens e coletas de amostras de solo para análise físico-químicas.

A segunda fase dos trabalhos de escritório constitui de:

- Registro, classificação e ordenação dos dados obtidos nos trabalhos de campo e laboratório;
- Classificação dos solos e elaboração da legenda das unidades de mapeamento, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos da EMPRAPA;
- Relação e descrição das unidades de mapeamento;
- Classificação e descrição das classes de terras para irrigação, segundo *Bureau of Reclamation*;
- Especificações para classificação de terras para irrigação;
- Descrição das classes de terra para irrigação;
- Elaboração das tabelas e do gráfico dos testes de infiltração;
- Elaboração do mapa de solos e de classes de terras para irrigação na escala 1:15.000;
- Elaboração do Relatório Técnico.

#### 2.4.1.2. *Trabalhos de campo*

Os trabalhos de campo tiveram início tão logo se concluiu a primeira etapa dos trabalhos de escritório, qual seja a de reconhecimento da área através das bases cartográfica, aerofotográfica, e planejamento das tarefas.

Com o deslocamento para a área de trabalho, fez-se um reconhecimento inicial com estabelecimento da legenda preliminar, contratação de pessoal e compra de material.

Nesta etapa de campo, adotou-se o método de caminhamento, pelas vias de acesso e trânsito existentes na área, procurando-se cobrir sistematicamente e estrategicamente toda a superfície a ser mapeada. Foram observadas e avaliadas as propriedades dos solos, principalmente características de drenagem, relevo, pedregosidade, rochividade e vegetação nativa da área.

Tendo como base as estradas existentes e alguns desmatamentos (roças) em toda a área, foram locados os perfis em planta básica para identificação e caracterização dos tipos de solos ocorrentes. Tal amarração serviu também para marcação das tradagens.

Primeiramente, optou-se pela abertura dos perfis nas áreas com grande ocorrência de afloramentos rochosos. Foram abertos e descritos 08 perfis nestas áreas, com profundidade inferior a 1 metro.

Em seguida, foram iniciadas as tradagens nas áreas consideradas irrigáveis, com a marcação dos perfis representativos, perfazendo um total de 12 perfis, dos quais 06 foram descritos e coletados para análises físico-químicas em laboratório (total de 24 amostras).

Foram efetuadas 40 tradagens individuais, além daquelas complementares no fundo das trincheiras. Serviram para confirmar os tipos de solos identificados através dos perfis, como também para separação das unidades de mapeamento.

Foram executados 02 testes de infiltração pelo método do duplo anel, os quais são bem representativos da infiltração básica nas unidades de solo aptas para irrigação na área estudada.

Os procedimentos de campo seguiram as recomendações contidas no Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo, publicado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS. Os conceitos e critérios adotados para a classificação dos solos estão de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - 2ª edição, publicado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA SOLOS.

### 2.4.1.3. Trabalhos de laboratório

As amostras foram analisadas no Laboratório de SOLOS/ÁGUA do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, cujos métodos de análises utilizados são descritos sucintamente a seguir:

#### Análises Físicas

- Análise granulométrica – Dispersão total – Método do densímetro com emprego do hexametáfosfato ou do hidróxido de sódio com dispersante. Separação das frações segundo a escala americana (areia grossa 0,2 – 2 mm, areia fina 0,2 – 0,05 mm; silte 0,05 – 0,002 mm e argila menor que 0,002 mm);
- Classificação textural – Baseado no triângulo de classificação americano, segundo o Soil Survey Manual, e denominação das classes de acordo com a tradução sugerida pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

#### Análises Químicas

- pH (água) Método potenciométrico, utilizando-se relação solo : água de 1:2,5;
- Nitrogênio – Determinado pelo método volumétrico de Kjeldahl;
- Fósforo assimilável – Método colorimétrico usando-se o extrator ácido de North Caroline;
- Carbono – Método volumétrico. Oxidação pelo bicromato de potássio;
- Matéria orgânica – Calculado em função do teor de Carbono pela expressão  $C \times 1,724$ ;
- Relação C/N – Calculado em função dos valores do Carbono e Nitrogênio;
- Cálcio e Magnésio – Método volumétrico, com titulação pela EDTA;
- Sódio e Potássio – Determinado pelo fotômetro de chama diretamente;
- Hidrogênio trocável – Método volumétrico. Extração pelo acetato de cálcio normal (pH 7) e dosagem pelo hidróxido de sódio;
- Alumínio trocável – Método volumétrico. Extração pelo cloreto de potássio normal e titulação com o hidróxido de sódio;
- Valor T (capacidade de troca de cátions). Soma dos valores (S) + (H+) + (Al +++);
- Valor V (porcentagem de saturação de bases). Calculado pela expressão:  $100 S/T$
- Percentagem de sódio no complexo. Calculado pela expressão:  $100 Na+/T$
- Percentagem de alumínio em relação a soma (S) + (Al +++);

Obtida pelo cálculo segundo a expressão:

$$100 (Al +++ ) / (S + Al +++)$$

- Condutividade elétrica no extrato de saturação – Medida no extrato de solo obtido por filtragem a vácuo, depois de feita a determinação da percentagem de saturação. Dados expressos em dS/m – obtidos diretamente numa Ponte de Condutividade.

## **2.4.2. Solos**

### *2.4.2.1. Introdução*

O levantamento de solos tem por objetivo a definição do manto da superfície do terreno com suas potencialidades agrícolas, limites e extensão, e seu registro de forma cartográfica.

Os solos com suas propriedades, delimitações e dimensionamentos são definidos através de caminhamentos por estradas, caminhos e picadas, procurando-se cobrir sistematicamente toda a área a ser mapeada, dentro do enfoque dos padrões de interesse a serem identificados.

O estudo de solos é feito a partir de observações da superfície e através de prospecções por meio de perfis em trincheiras e por meio de tradagens, quando são feitas coletas de amostras para análise de laboratório.

Os solos são identificados, com base em suas propriedades morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas a par de averiguações dos aspectos interrelacionados de permeabilidade, drenagem, relevo, pedregosidade, rochosidade, geologia, material de origem, presença de horizonte impermeável ou semi-impermeável, sodicidade, salinidade, além de considerações sobre clima, vegetação e uso atual.

Toma-se por base inicialmente, as propriedades morfológicas do solo “in loco”, as quais têm relação com a natureza intrínseca de caráter físico, químico e mineralógico; sendo definidas por espessura, cor, textura, estrutura, consistência, transição, etc., juntamente com considerações sobre situação de ocorrência e os aspectos acima mencionados.

### *2.4.2.2. Critérios para o estabelecimento das classes de solos*

Em conformidade com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, foram considerados alguns atributos diagnósticos utilizados para a conceituação e classificação dos solos encontrados na área do levantamento, bem como para o estabelecimento das fases de unidades de mapeamento.

**Profundidade dos Solos** - As classes de profundidade são empregadas para designar condições de solos nas quais um contato lítico ou lítico fragmentário ocorra nos seguintes limites:

**Raso:**  $\leq 50$  cm de profundidade.

**Pouco profundo:**  $> 50$  cm  $\leq 100$  cm de profundidade.

**Profundo:**  $> 100$  cm  $\leq 200$  cm de profundidade.

**Muito profundo:** > 200 cm de profundidade

**Grupamento Textural** - É a reunião de uma ou mais classes de textura. As classes de textura adotadas seguem o triângulo americano de textura com modificação para muito argiloso, de acordo com o Soil Survey Manual.

São utilizados os seguintes grupamentos:

- Textura arenosa - Compreende as classes texturais areia e areia franca.
- Textura média - Quando na composição granulométrica há menos de 35% de argila e mais de 15% de areia, excluídas as classes anteriores.
- Textura argilosa - Quando na composição granulométrica há entre 35% e 60% de argila.
- Textura muito argilosa - Quando há mais de 60% de argila.
- Textura siltosa - Quando há menos de 35% de argila e menos de 15% de areia.
- Textura binária - Por exemplo: média/argilosa. Significa mudança textural do horizonte A (média) para o horizonte B (argilosa), de importância para a classificação.

Os principais solos mapeados na área, apresentam textura arenosa em todos os perfis representativos, exceção do fragipan constatado nos NEOSSOLOS REGOLÍTICOS e de algumas tradagens no piso de alguns perfis, que acusaram textura franco arenosa a partir de 150 cm.

**Saturação por Bases** - Refere-se ao percentual de cátions básicos trocáveis em relação à capacidade de troca catiônica. É expressa pela fórmula:  $V\% = 100 \cdot S/T$

De acordo com os valores encontrados, os solos são distróficos ou eutróficos.

- Distrófico – Caráter que designa baixa saturação, com V menor que 50%.
- Eutrófico – Caráter que designa alta saturação, com V igual ou maior que 50%.

Para se especificar se um determinado solo é distrófico ou eutrófico, considera-se o valor V dos horizontes B (ou C), levando-se em conta também este valor no horizonte A de alguns solos.

Estas especificações não são usadas em classes de solos que por definição apresentam somente solos distróficos ou eutróficos.

**Caráter Álico** – Empregado para solos que apresentam o horizonte B (ou C, quando não existe B), com 50% ou mais saturação por Al +++.

O termo álico especifica distinção de saturação por alumínio segundo a relação:

$100 (Al \text{ +++}) / (Al \text{ +++} + S)$ , onde S é igual a soma de bases trocáveis.

**Fragipan** - Horizonte mineral subsuperficial com cimentação reversível, que constitui impedimento ao desenvolvimento das raízes e ao fluxo horizontal da água;

**Rochosidade** - Refere-se à exposição do substrato rochoso, lajes de rochas, parcelas de camadas delgadas de solos sobre rochas e/ou predominância de matacões (“*boulders*”) com diâmetro maior que 100 cm, na superfície ou na massa de solo, em quantidades que tornam impraticável o uso de máquinas agrícolas.

### Fases

O critério de fases visa fornecer maiores informações para o uso agrícola dos solos. Os fatores levados em consideração para o estabelecimento das fases foram: drenagem e relevo.

A vegetação não foi levada em consideração, devido não haver variações florísticas, pertencendo toda a área à formação caatinga hiperxerófila, exceção da inclusão nesta cobertura de floresta de várzea nos NEOSSOLOS FLÚVICOS.

As fases de drenagem e relevo identificadas na área são definidas a seguir:

**Classes de Drenagem** - Referem-se à quantidade e rapidez com que a água recebida pelo solo se escoar por infiltração ou superficialmente, afetando ou não as condições hídricas do solo, durante o período em que permanece úmido, molhado ou encharcado.

Segundo o Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo (Santos *et al.*, 2005), as classes de drenagem são:

- Excessivamente drenado - a água é removida do solo muito rapidamente; o material do solo tem elevada porosidade e permeabilidade, sendo comum nos solos de textura arenosa.
- Fortemente drenado - a água é removida rapidamente do perfil; os solos são muito porosos, de textura média a arenosa e muito permeáveis.
- Acentuadamente drenado - a água é removida rapidamente do perfil; os solos são de textura média e argilosa, porém muito porosos e bem permeáveis.
- Bem drenado - a água é removida do solo com facilidade, porém não rapidamente; os solos apresentam textura argilosa ou média, não ocorrendo mosqueado de oxi-redução, ou, quando presentes, ocorrem em profundidades superiores a 150 cm da superfície do solo.
- Moderadamente drenado - a água é removida do solo um tanto lentamente, de modo que o perfil permanece molhado por uma pequena, porém significativa parte do tempo; os solos apresentam uma camada de permeabilidade lenta no solum (A + B) ou imediatamente abaixo dele. O lençol freático acha-se imediatamente abaixo do solum ou afetando sua parte inferior, por adição de água, através da translocação lateral interna. Pode apresentar algum mosqueado derivado de oxi-redução, na parte inferior do horizonte B, ou chegar ao topo

deste horizonte quando associado à acentuada diferença textural entre A e B, podendo resultar em caráter epiáquico.

- Imperfeitamente drenado - a água é removida do solo lentamente, de forma que este permanece molhado por período significativo, mas não durante todo o ano; os solos comumente apresentam uma camada de permeabilidade lenta no solum, lençol freático alto, adição de água por translocação lateral in-terna, ou combinações destas condições. É comum apresentar mosqueado por oxi-redução no perfil, notando-se indícios de gleização na parte baixa.
- Mal drenado - a água é removida muito lentamente do perfil do solo de maneira que este permanece molhado por grande parte do ano. O lençol freático está à superfície ou próximo dela durante considerável parte do ano. As condições de má drenagem são devidas ao lençol freático elevado, presença de camada com lenta permeabilidade, adição de água por translocação lateral interna, ou combinação destas condições. É freqüente a ocorrência de mosqueado no perfil, com características de gleização.
- Muito mal drenado - a água é removida do perfil tão lentamente que o lençol freático permanece à superfície ou próximo, durante a maior parte do ano. Solos desta classe usualmente ocupam áreas deprimidas, com estagnação de água, sendo comuns as características de gleização com acúmulo de matéria orgânica, formando horizonte hístico.

**Fases de Relevo** - Nas unidades de mapeamento de solos o relevo constitui uma fase de distinção utilizada para subdivisão mais homogênea das classes de solos, refletindo condições que interferem no comportamento e nas propriedades dos solos. O emprego de classes de relevo tem por objetivo apresentar subsídios para o estabelecimento dos graus de limitações ao uso de máquinas e equipamentos, principalmente em irrigação, e facilitar inferências sobre suscetibilidade dos solos à erosão.

Na área selecionada para o estudo de solos é predominante o relevo plano e suave ondulado, assim definidos:

- Relevo plano - compreende uma superfície de topografia esbatida ou horizontal onde os desníveis são muito pequenos, com declives entre 0 e 3%.
- Relevo suave ondulado - abrange superfícies de topografia pouco movimentada, constituindo rampas com declives entre 3 e 6%.

#### 2.4.2.3. *Legenda das unidades de mapeamento*

A delimitação das unidades de mapeamento teve como base as informações obtidas no levantamento de campo através das observações (tradagens e perfis) e dos resultados das análises de solos.

A nível do presente estudo, e em função principalmente da uniformidade litológica e fisiográfica, a área apresenta também homogeneidade na sua composição edáfica, tendo sido identificados e caracterizados as seguintes Unidades de Mapeamento, constantes do mapa de solos.

<b>Símbolo</b>	<b>Unidade de Mapeamento</b>
RQ0o1	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos muito profundos excessivamente drenados relevo plano.
RQo2	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos muito profundos fortemente drenados relevo plano e suave ondulado.
RQo3	NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos pouco profundos fortemente drenados relevo plano e suave ondulado + AFLORAMENTOS DE ROCHA.
RRq	NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Psamíticos fragipânicos pouco profundos fortemente a imperfeitamente drenados relevo plano e suave ondulado + AFLORAMENTOS DE ROCHA.
RU	NEOSSOLOS FLÚVICOS INDISCRIMINADOS floresta de várzea relevo plano.

#### 2.4.2.4. Descrição das Unidades de Mapeamento

##### **UNIDADE RQo1**

Esta unidade compreende os solos predominantes e pertencentes a única classe mapeada e caracterizada na área estudada (NEOSSOLOS), os quais são constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso, com pequena expressão dos processos pedogenéticos, em consequência da baixa intensidade de atuação destes processos, os quais não efetuaram ainda modificações expressivas do material originário, em face de sua resistência ao intemperismo ou composição química.

São solos de alto conteúdo de areia, principalmente composta de quartzo, excessivamente drenados, de relevo plano, de baixa fertilidade natural e muito profundos. O substrato – arenito – encontra-se a profundidades maiores de 2,0 metros.

Apresentam seqüência típica de horizontes A, C e R. São desenvolvidos a partir de arenito da Formação Serra Grande do período Siluriano-Devoniano Inferior.

O horizonte A possui espessura variando de 18 a 25 cm, com coloração indo de branco a bruno amarelado claro, na matiz 10YR.

A textura é da classe areia; não possuem estrutura, isto é, apresentando-se em grãos simples. O solo se apresenta solto quando seco, solto a muito friável quando úmido e não plástico e não pegajoso quando molhado.

A fração dominante neste horizonte é a areia, em torno de 90%, seguido de argila e silte com teores baixos.

O teor de argila pode aumentar ligeiramente em profundidade, especialmente a partir do horizonte C2.

O horizonte C, de grande espessura, subdividido em C1, C2 e C3, possui coloração variando de amarelo a amarelo brunado na matiz predominante de 10YR, com textura arenosa e sem estrutura, isto é, apresentando-se em grãos simples.

O teor em matéria orgânica nestes solos varia de médio a alto no horizonte A1 (2,90 a 9,52 g/kg), sendo baixo no horizonte C. Carbono e nitrogênio apresentam valores baixos, diminuindo com a profundidade dos perfis. O mesmo acontece com os valores de fósforo assimilável.

São solos com pH variando de fortemente ácido (4,3 a 5,3) a moderadamente ácido (5,4 a 6,5). Possuem baixa soma de bases (de 0,5 a 1,2 cmolc/kg), baixa capacidade de troca de cátions (1,4 a 3,1 cmolc/kg) e de baixa saturação de bases (valor  $V < 50\%$ ).

A condutividade elétrica do extrato de saturação é menor do que 1,00 dS/m em todos os perfis. O grau de floculação é bastante variável, estando compreendido entre 11 e 85 g/100g.

São solos de permeabilidade rápida e drenagem excessiva, com uma velocidade de infiltração muito alta (maior que 260 mm/h), tendo, conseqüentemente, uma boa aeração.

Estão representados pelos perfis 09, 13 e 19 (com análise) e 10, 11 e 20 (de correlação).

## **UNIDADE RQo2**

Como a unidade anterior, são solos arenosos, eminentemente quartzosos, muito profundos, excessivamente drenados, desprovidos de minerais primários menos resistentes ao intemperismo e pobres em nutrientes, sendo portanto de baixa fertilidade natural.

Os solos desta unidade ocorrem com frequência dentro da área estudada, ocupando posições topográficas de relevo plano e suave ondulado, o que motivou principalmente a caracterização (definição) da mesma.

Possuem seqüência de horizontes A e C, onde o horizonte A com espessura em torno de 17 cm, possui coloração indo de acinzentado claro a bruno amarelado com matriz 10YR. A textura vai de areia a areia franca, sem estrutura (grãos simples), e de consistência solto, solto e não plástico e não pegajoso. Transita de maneira clara e de forma plana para o horizonte C.

O horizonte C destes solos estende-se de 18 centímetros (limite normal inferior do horizonte A<sub>1</sub>) até mais de 2,0 metros normalmente. A cor é tipicamente amarelada (10YR 6/8 e 7/8); a textura tipicamente arenosa em todo horizonte, ocasionalmente franco arenoso na parte inferior de dois perfis representativos.

A estrutura é maciça com alta percentagem de poros, dando a estes solos alto poder de infiltração, tendo, conseqüentemente, uma boa aeração.

O teor de matéria orgânica destes solos vai de um teor considerado no horizonte A diminuindo gradativamente com a profundidade a teores da ordem de 1,14 a 1,45 g/kg. Os níveis de P, K e Ca + Mg são baixos e também o de nitrogênio.

A reação destes solos vai de fortemente ácido a moderadamente ácido (pH 4,7 a 5,9), com soma de bases trocáveis (S) baixa, assim como a capacidade de troca (T) e a saturação de bases (V), exceção do horizonte A do perfil 01 que acusou 68% (eutrófico).

Estão representados pelos Perfis 01, 07 e 17 (com análise) e 14, 15 e 18 (de correlação).

### **UNIDADE RQo3**

Os solos desta unidade ocorrem com muita frequência em toda área levantada, ocupando geralmente posições intermediárias no relevo, ou seja, entre a várzea do rio e as outras unidades mapeadas.

São solos arenosos, fortemente drenados, pouco profundos (50 a 100 cm), que ocorrem em relevo plano e suave ondulado, associados a afloramentos rochosos em toda sua extensão.

Os perfis representativos desta unidade apresentam um horizonte A com espessura variando entre 15 a 25 cm, com coloração indo de acinzentado a bruno amarelado na matriz 10YR. A textura é arenosa em grão simples, com transição geralmente gradual e plana para o horizonte C.

O horizonte C, subdividido em C1 e C2 vai até 95 cm de profundidade, o qual possui coloração variando de bruno acinzentado a amarelo brunado em sua maioria. A textura vai de arenoso a areia franca, em grãos simples e maciço. A consistência para o solo seco e úmido é solto, sendo não plástico e não pegajoso para o solo molhado.

As limitações principais deste solo para a irrigação decorrem da pouca profundidade efetiva e principalmente da grande ocorrência de afloramentos rochosos.

Estão representados pelos Perfis 08, 12 e 16.

### **UNIDADE RRq**

Compreende solos desenvolvidos, pouco profundos, derivados de rochas ricas em quartzo com feldspato na fração areia.

Na área foram caracterizados através de perfis com ocorrência de fragipan a profundidades inferiores a 1 metro (horizonte Cx).

São solos com horizonte A em torno de 18 cm de espessura, de coloração predominante de bruno amarelado na matriz 7.5YR, textura arenosa, sem estrutura (grãos simples), de consistência solto quando seco, solto quando úmido e não plástico e não pegajoso quando molhado.

O horizonte C, subdividido em C1 e C2 apresenta espessuras que variam de 18 a 75 cm. As cores para o solo seco vão de bruno claro a bruno claro acinzentado, matizes 7.5YR a 10 YR, com mosqueado no C2 ocasionado pelo impedimento do fluxo d'água para o horizonte subsequente compactado (Cx). Quanto a textura é areia franca e sem estrutura (maciça).

São solos muito susceptíveis à erosão, que ocorrem em relevo plano e suave ondulado, associados a afloramentos rochosos constituindo principalmente os boqueirões do lado esquerdo do Rio Inhuçú.

Estão representados pelos Perfis 02, 03, 04, 05 e 06.

## **UNIDADE RU**

Compreende solo pouco desenvolvidos, provenientes de deposições fluviais recentes e que apresentam apenas um horizonte A superficial diferenciado, sobrejacente a camadas estratificadas IIC, IIIC..., as quais normalmente não guardam relações pedogenéticas entre si.

Estes solos variam de moderadamente profundos a muito profundos, de texturas as mais diversas, drenagem comumente imperfeita ou moderada.

As características morfológicas destes solos variam muito de local para local e mesmo num determinado perfil, estando principalmente em função da natureza do material originário proveniente de deposições recentes.

Ocorrem em relevo plano às margens do Rio Inhuçú com inclusão em algumas áreas de Solos Hidromórficos.

Podem sofrer grandes inundações no período invernos. Não foram caracterizados por meio de perfil e nem tradagem no presente estudo, apenas mapeados.

### **2.4.3. Classificação das terras para irrigação**

#### **2.4.3.1. Classificação Adotada**

A avaliação da aptidão das terras para agricultura sob irrigação da área foi realizada com base nos critérios de classificação do "U.S. Bureau of Reclamation Manual" a qual estabelece 6 classes de terras em função de parâmetros físicos relacionados com características de solo, topografia e drenagem, e econômicos, considerando a produtividade e os custos de desenvolvimento da terra.

As classes 1, 2 e 3 são consideradas aptas, sendo que a classe 1 corresponde as melhores

terras, praticamente sem limitação para o desenvolvimento agrícola sob irrigação. A classe 4 separa aquelas terras que só possam ser irrigadas com sistemas especiais de manejo, ou são para uso especial enquanto que a classe 5 abrange as terras consideradas provisoriamente inaptas e, finalmente, na classe 6 separam-se aquelas terras que são impróprias para irrigação.

A classificação do Bureau objetiva a predição da produção das culturas como uma função de fatores físicos (solo, topografia e drenagem) e sócio-econômicos (nível tecnológico, recursos, organização social, etc.). As classes são definidas como categorias de terra com similares características físicas e econômicas e expressam a sua capacidade de pagamento para dar retorno aos investimentos necessários para a sua incorporação ao uso agrícola sob irrigação.

No presente trabalho, a classificação das terras para irrigação foi realizada basicamente em função dos fatores físicos, considerando-se como premissas básicas:

- A terra e a água serão manejadas adequadamente segundo a melhor tecnologia disponível;
- A classificação poderá mudar quando novas informações a respeito do comportamento da terra sob irrigação sejam disponíveis, inclusive a respeito de aspectos econômicos. A introdução de novas tecnologias e novos dados de pesquisas poderão também induzir mudanças na classificação das terras.

A classificação realizada na área estudada objetivou determinar o potencial das terras para agricultura sob irrigação, conhecer as suas principais características que possibilitarem orientar a respeito do seu melhor manejo, e estabelecer categorias que expressem, em termos gerais, a sua capacidade de produção, considerando que a terra a ser irrigada deve ser permanentemente produtiva.

#### 2.4.3.2. *Definição geral das classes de terra*

As classes estabelecidas pela classificação do Bureau são assim definidas:

##### **Classe 1- Apta:**

Estas terras são aptas para irrigação, podendo ser rápida e eficientemente irrigadas pelo sistema previsto. São capazes de produção com altos rendimentos de ampla faixa de cultivos climaticamente adaptados, a custos razoáveis. Os solos apresentam boa e estável estrutura, permitindo a fácil penetração das raízes, ar e água, e possuem adequada drenagem interna. A capacidade de retenção de água deve ser adequada para proporcionar umidade para o ótimo desenvolvimento das plantas cultivadas. O solo deve ser livre de sais solúveis ou, havendo sais presentes, poderão ser facilmente lixiviados. Estas terras apresentam alta capacidade de pagamento.

### **Classe 2- Apta:**

Compreende terras com aptidão moderada para irrigação, sendo inferiores as da classe 1 em capacidade e/ou exigindo custos mais altos para preparo, irrigação e cultivo. Em comparação à classe 1, o solo pode ter menor capacidade de retenção de umidade, ou permeabilidade menor no ar, água e raízes, podendo ser ligeiramente salinos, o que pode limitar a produtividade ou envolver custos moderados de lavagem. Limitações topográficas podem incluir superfície irregular, que exija custos moderados para correção, ou glebas pequena e declive que requerem custos maiores para evitar fenômenos de erosão. Podem ser necessários custos moderados de drenagem, bem como remoção de vegetação arbórea ou pequena pedregosidade. Esta classe apresenta capacidade de pagamento intermediária.

### **Classe 3- Apta:**

As terras desta classe são aptas para irrigação, porém apresentam deficiência de solos, topografia ou drenagem, as quais são mais severas daquelas descritas para classe 2 devido a alguma forte deficiência (simples ou combinação de duas deficiências). As terras desta classe apresentam menor capacidade produtiva e/ou maiores custos de produção de desenvolvimento do que a anterior. Embora maiores riscos envolvam a sua utilização em agricultura irrigada, estas terras tem adequada capacidade de pagamento para atender os custos de operação, manutenção e reposição, sob manejo e unidades de tamanho adequado.

### **Classe 4- Apta:**

As terras desta classe são delimitadas e utilizadas somente em situações especiais, nas quais é necessário diferenciar uma quarta classe para identificar e caracterizar adequadamente terras que apresentam fortes limitações que restringem a sua utilização, porém possuem os requisitos mínimos para uma terra arável, sob um plano determinado.

### **Classe 5- Provisoriamente inapta:**

A aptidão das terras incluídas nesta classe não pode ser determinada pelos métodos de classificações de rotina, porém são terras que apresentam valor potencial suficiente para ser separadas para estudos especiais. A constituição da classe 5 é provisória, e normalmente muda para uma classe arável ou para 6, após completados os estudos. Podem ser deficiências de solos, topografias, drenagem, coberturas de pedras, ou outras deficiências severas que exigem estudos de agronomia ou engenharia para determinar a sua arabilidade. Podem ser utilizadas como um meio de esgotar as possibilidades de um projeto, por exemplo, quando existem recursos hídricos em abundância ou déficit de terras melhores.

### **Classe 6- Inapta:**

Inclui as terras que não atingem os requisitos mínimos para pagar os custos de operação, manutenção e reposição. Em geral compreende terras com alto declive, erodidas ou quebradas, com solos texturas muito grossa ou fina, com pouca profundidade sobre roxa ou duripan; com drenagem inadequada e alta concentração de sais solúveis ou sódio e terras pedregosas.

#### 2.4.3.3. Subclasses

As classes podem ser subdivididas em subclasses em função das limitações apresentadas pelas terras, que podem estar relacionadas ao próprio solo a topografia ou a drenagem.

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

Nas condições da área estudada, foram apontadas as seguintes limitações constituindo subclasses:

##### **De solo(s):**

- i- velocidade de infiltração alta
- q- baixa capacidade de retenção de umidade
- y- baixo nível de fertilidade natural
- k- pequena profundidade efetiva
- x- pedregosidade

##### **De topografia(t):**

- g- declividade

##### **De drenagem(d):**

- f- risco de inundação

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

##### **Uso Atual da Terra**

- B- Caatinga, incluindo pequenas áreas desmatadas

##### **Produtividade da terra**

Avaliada em função do aspecto das culturas existentes e dos dados físicos e químicos dos perfis analisados, sendo definida pelos símbolos:

- 1 - Alta

2 - Média

3 - Baixa

6 - Muito baixa

### **Custo de desenvolvimento**

Avaliado em função da maior ou menor necessidade e do nível de complexidade de operações para o preparo da terra (eliminação da vegetação natural, remoção de pedras, sistematização, etc), distribuição da água, melhoramento do solo, etc. É definido pelos símbolos:

1 - Baixo

2 - Médio

3 - Alto

6 - Muito alto

### **Necessidade de água**

A - Baixa

B - Média

C - Alta

### **Drenabilidade das terras**

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

X - Boa

Y - Moderada

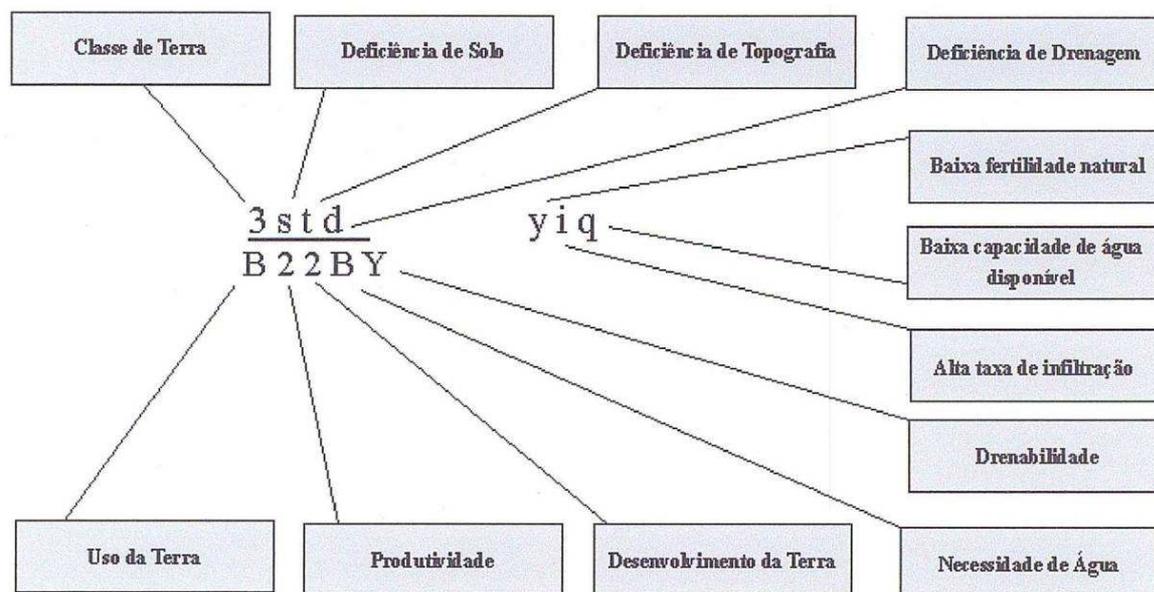
Z - Pobre

W - Crítica

#### *2.4.3.4. Representação Cartográfica*

A representação cartográfica da aptidão das terras para irrigação é feita sob a forma de fração. Consta do numerador algarismo (2, 3, etc.) que representa a classe, seguindo de letras (s,t,d) que representam as subclasses. No denominador constam dados de uso atual, produtividade, custo de desenvolvimento, necessidades de água e drenabilidade da terra. A seguir da fração letras

minúsculas representam informações adicionais referentes às deficiências de solo, topografia e drenagem. (Figura 2.1)



**Figura 2.1: Exemplo da fração de Classe de Terra para Irrigação**

#### 2.4.3.5. Especificações para classificação das terras para irrigação

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

No **Quadro 2.1** são representados os parâmetros considerados para a classificação das terras segundo a sua aptidão para a irrigação.

**Quadro 2.1: Especificações para Determinação das Classes de Solos Para Irrigação**

CARACTERÍSTICAS DA TERRA	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4S	CLASSE 5	CLASSE 6
Textura superficial (0-30 cm)	Média a argilosa permeável	Média (leve) a argilosa	Arenosa a argilosa	Arenosa a argilosa	Arenosa a argilosa	Arenosa a muito argilosa
Subsuperficial (30 – 120 cm)	Média a argilosa permeável	Média a argilosa	Média (leve) a argilosa	Média a argilosa	Média a argilosa	Arenosa a muito argilosa
<b>Profundidade</b>						
Até materiais permeáveis (concreções Cascalho ou Calhaus)	>90	>70	>50	>50	>40	<30
Até materiais semipermeáveis Fragipã, Saprólito ou Rocha semipermeável	>100	>80	>60	>60	>50	<40
Até materiais impermeáveis (duripã Horizonte plânico ou Rocha)	>110	>90	>70	>70	>60	<50

CARACTERÍSTICAS DA TERRA	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4S	CLASSE 5	CLASSE 6
<b>Capacidade de água disponível</b> Cm de água nos primeiros 30cm	>3,0	>1,5	0,6	>0,3	>0,2	<0,2
Cm de água até 120 cm	>9,0	>2,2	1,5	>0,7	>0,5	<0,5
<b>Capacidade de Troca de Cátions</b> CTC (0-30 cm) em cmol <sub>e</sub> /kg de solo	>8,0	>5,0	>3,0	>2,0	>2,0	<2,0
<b>Cátions Trocáveis</b> Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> (0-30 cm) em cmol <sub>e</sub> /kg de solo	>3,0	>2,0	>1,2	>0,8	>0,6	<1,0
<b>Alumínio Trocável:</b> Al <sup>3+</sup> (0-30 cm) em cmol <sub>e</sub> /kg de solo	0	<1,0	<2,0	>4,0	<6,0	>8,0
<b>Reação</b> (pH em água) (0-30 cm)	5,4 a 7,3	5,4 a 7,3	4,3 a 8,3	5,0 a 8,0	<8,5	>8,5
<b>Saturação por Sódio</b> em %	<6	<9,0	<15	<15	<17	>17
<b>Condutividade Elétrica</b> CEC em dS/m a 25°C até 120 cm	<1,5	<3,0	<4,0	<5,0	<6,0	>5,0
<b>Topografia</b> Declividade em %	<2	<3	<8	<10	<15	<20
Pedregosidade	Não Pedregoso	Não Pedregoso	Não ou pouco Pedregoso	Pouco Pedregoso	Pedregoso	Muito pedregoso
<b>Drenagem</b> Superficial (inundações e enchentes)	Ausente	Ausente	Ocasional	Ocasional	Ocasional a Freqüente	Muito Freqüente
Interna	Acentuadamente a Moderadamente	Acentuadamente a Moderadamente	Acentuadamente a Moderadamente	Acentuadamente a Moderadamente	Bem a Mal drenado	Mal a muito mal drenado
Drenabilidade do Perfil	Boa	Boa	Restrita	Pobre	Restrita a Crítica	Crítica

#### 2.4.3.6. Classes e Subclasses de Terra para Irrigação na Área

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

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

#### 2.4.3.7. Descrição das classes de terras para irrigação

Classe     S3s     yqi  
B31CX

Os solos que compõem esta classe correspondem a NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS muito profundos compreendendo as unidades de mapeamento RQo1 RQo2..

O relevo predominante é plano com declives de 0 a 3%, ocorrendo também relevo da classe suave ondulado em alguns pontos.

Apresentam como cobertura vegetal natural à caatinga hiperxerófila densa predominantemente arbórea associada à formação de carrasco ou caatinga arbustiva, praticamente sem nenhum cultivo, servindo apenas de suporte alimentar para pecuária extensiva. Constatou-se, além de caju, pequenos cultivos de milho, feijão mandioca e horticultura (pimentão).

São solos com fortes limitações para irrigação por gravidade, devido às características texturais que possuem, principalmente em superfície, sendo por isso recomendados para irrigação por gotejamento e/ou microaspersão.

#### **Classe 6s**

Compreendem terras com relevo plano e suave ondulado, com declividade indo de 0 a 6%, localizadas em posições intermediárias, ou seja, entre o baixão do rio e as manchas consideradas irrigáveis mapeadas na área.

São solos fortemente drenados, sob caatinga hiperxerófila rala, pouco profundos, com contato lítico a menos de 1 metro, e com grande ocorrência de afloramentos de rocha. Em face destas limitações foram consideradas inaptas para uso agrícola sob irrigação. Correspondem à unidade de mapeamento Rqo3.

#### **Classe 6sd**

Integram esta classe terras de relevo plano e suave ondulado com declividade de 0 a 6%, com grande parte destes solos constituindo a rede de drenagem natural da área, (várzeas do rio Inhuçú). Sofrem inundações no período invernos.

A outra parte destas terras constituem os boqueirões pela margem esquerda do rio, os quais possuem solos de textura arenosa, com ocorrência de camada de impedimento (fragipan) geralmente entre 50 e 100 cm. Nestes solos é grande a ocorrência de afloramentos rochosos.

Devido as limitações de solos e drenagem, estas terras foram consideradas inaptas para irrigação.

#### 2.4.4. Conclusões e recomendações

O levantamento pedológico desenvolvido na área, teve como finalidade principal, a caracterização e mapeamento dos solos que apresentam possibilidades efetivas de aproveitamento com irrigação, são os que possuem melhores condições de drenagem, de profundidade efetiva, de pouca declividade e ausência de pedregosidade.

##### 2.4.4.1. Composição edafológica da área

A nível do presente estudo, e em função principalmente da uniformidade litológica e fisiográfica, a área apresenta também homogeneidade na sua composição edáfica, tendo sido identificados e caracterizados as seguintes Unidades de Mapeamento, constantes do mapa de solos.

#### Solos Aptos

- **RQo1** - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos muito profundos excessivamente drenados relevo plano.
- **RQo2** - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos muito profundos fortemente drenados relevo plano e suave ondulado.

#### Solos Ináptos

- **RQo3** - NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS Órticos típicos pouco profundos fortemente drenados relevo plano e suave ondulado + AFLORAMENTOS DE ROCHA.
- **RRq** - NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Psamíticos fragipânicos pouco profundos fortemente a imperfeitamente drenados relevo plano e suave ondulado + AFLORAMENTOS DE ROCHA.
- **RU** - NEOSSOLOS FLÚVICOS INDISCRIMINADOS floresta de várzea relevo plano.

Praticamente toda a área é integrada por solos que apresentam como característica comum a presença de textura arenosa nos horizontes superficiais, aumentando a fração argila com a profundidade do perfil.

São solos que não apresentam limitações intrínsecas quanto ao tipo de cultura a implantar, sempre que sejam corrigidas as suas deficiências, principalmente de fertilidade natural.

## 2.4.4.2. Principais Características das Terras para Agricultura Irrigada

### 2.4.4.2.1 Limitações de Solos

A característica marcante da maioria dos solos da área é a textura arenosa dominante nos horizontes superficiais, da qual decorrem a maioria de suas limitações para uso agrícola:

#### a) Fertilidade

A fertilidade natural da maioria dos solos da área é baixa observando-se marcadas deficiências de macronutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio e potássio. Os níveis de matéria orgânica, na maioria dos casos, se situam entre 0,83 a 6,10 g/Kg. No tocante a micronutrientes, devem apresentar moderados a fortes limitações.

A totalidade dos solos da área apresentam reação moderada a fortemente ácidos, o pH variando mais comumente entre 4,5 e 6,7, a capacidade de troca catiônica apresenta valores baixos, bem como a saturação de bases (valor V menor que 50%).

Pelos dados analíticos referentes ao status da fertilidade dos solos da área, se deduz que a sua utilização em agricultura exigirá como condição básica a elevação dos níveis de nutrientes. Dada a escassa experiência local quanto a doses de fertilizantes a serem aplicados, será da maior relevância a montagem de campos demonstrativos e experimentais, antes da implantação de quaisquer Projeto Hidroagrícola, que permitam a obtenção de dados e informações a respeito das necessidades de fertilizantes e corretivos para as diversas culturas programadas para serem implantadas na área.

A maioria dos solos da área apresentam texturas arenosas nos horizontes superficiais. Em consequência cabe esperar que as necessidades de corretivo calcário não serão altas, devendo-se considerar que a sua aplicação objetivará, também, melhorar os níveis de cálcio e magnésio na maioria dos solos.

As práticas agrícolas a serem aplicadas na área deverão considerar a possibilidade de melhorar os teores de matéria orgânica. Assim a incorporação de adubos orgânicos, restos culturais, etc., devem ser incentivados por ocasião da implantação das culturas.

#### b) Infiltração

Os valores de infiltração obtidos nos testes de campo para os solos considerados potencialmente irrigáveis se situam normalmente acima de 250 mm/h, concordantes com as características texturais dos horizontes superficiais dos solos.

De acordo com esses dados pode-se concluir que a irrigação por métodos gravitários não é viável nos solos da área.

### **c) Capacidade de água disponível**

A maioria dos solos da área são pobres em matéria orgânica e apresentam texturas arenosas, especialmente nos horizontes superficiais. Conseqüentemente, a sua capacidade de retenção de água é limitada, exigindo métodos especiais de irrigação e turnos de rega frequentes.

### **d) Erodibilidade**

Os solos arenosos, de grande porosidade, absorvem toda chuva leve sem causar escoamento superficial e conseqüente erosão; mas em compensação, como possuem baixa proporção de partículas argilosas que atuam ligando e mantendo unidas as partículas grossas, com chuvas fortes, ao escorrer qualquer corrente de água resultando susceptíveis à erosão.

Atualmente não se verificam processos erosivos em áreas expressivas, devendo-se considerar que apenas uma pequena proporção da área estão sendo cultivadas com culturas de ciclo curto (subsistência e com horticultura).

### **Limitações de Topografia**

As características topográficas da área constituem fator limitante relevante. As terras classificadas como potencialmente irrigáveis apresentam relevo geral plano e suave ondulado bastante uniforme, com declives raramente ultrapassando 6%.

Do ponto de vista da irrigação, as condições de relevo não constituem limitação, mesmo porque os únicos métodos admissíveis são por aspersão ou irrigação localizada. As pequenas depressões alongadas e estreitas existentes na área poderão vir a constituir linhas básicas de drenagem e servirem como limites naturais na demarcação dos lotes.

Nas áreas mais declivosas deve-se dar maior atenção na prevenção de processos erosivos, já que os solos arenosos são muito susceptíveis à erosão, através de adoção de práticas de conservação de solos.

#### **2.4.4.2 Limitações de drenagem**

Os solos dominantes na área e principalmente os irrigáveis, são profundos e muito profundos, de textura arenosa e não apresentam camadas restritivas ao movimento da água. Em decorrência dessas características não cabe esperar problemas de drenagem, resultando também muito improvável que venham a ocorrer quaisquer riscos de salinização. A alta taxa de infiltração, pelo contrário, deverá propiciar a lixiviação dos solos, fato que deve ser considerado na programação das adubações.

Nas condições naturais existem na área depressões estreitas alongadas que constituem drenos naturais; com a implantação da irrigação para as partes altas, recebam maior aporte de umidade, o que poderá proporcionar elevação de lençol freático.

#### 2.4.4.3. *Recomendações sobre o Aproveitamento Agrícola sob Irrigação da Área estudada:*

##### **a) Métodos de Irrigação**

As características dos solos excluem a possibilidade de aplicar sistemas de irrigação por superfície em decorrência das altas taxas de infiltração e baixa capacidade de retenção de água dos solos. Assim a seleção do método a aplicar na área, dentre os viáveis em função das características físico-hídricas dos solos, estará mais relacionadas a fatores econômico-financeiros e às culturas a serem implantadas.

Dentre os métodos de irrigação por aspersão, o convencional pode ser indicado para a área, permitindo a exploração de uma ampla faixa de cultivos.

Dentre os métodos de irrigação localizada, a microaspersão oferece condições muito convenientes para culturas permanentes, preferencialmente fruteiras, sendo especialmente recomendável para solos arenosos com alta taxa de infiltração, como os da área estudada. O sistema por gotejamento é também recomendável, tendo a vantagem de permitir a implantação de culturas variadas, anuais e perenes.

A fertirrigação poderá também ser utilizada nestes solos.

##### **b) Aumento da Disponibilidade de Nutrientes**

A elevação da disponibilidade de nutrientes indispensáveis para as culturas deverá ser efetuada com a aplicação de calagem, adubos corretivos e adubos de manutenção. Estas aplicações serão quantificadas através de análises que visam avaliar a fertilidade da camada arável dos solos, e deverão ser realizadas antecedendo a implantação do projeto e, posteriormente, com uma certa periodicidade, para acompanhar o comportamento daqueles solos.

A calagem, tendo em vista o pH dos solos, deverá ser utilizada também para elevar os teores de cálcio e magnésio, que se encontram em níveis muito baixos. Para tanto, deverá ser utilizado calcário dolomítico.

A adubação corretiva visa elevar a fertilidade do solo, principalmente em fósforo e potássio, criando condições favoráveis de nutrição para todas as culturas que venham a ser utilizadas. Em virtude da extrema lixiviação a que estes solos são susceptíveis, as doses recomendadas com base nas análises deverão ser fracionadas em duas ou três vezes, sendo a primeira aplicada

durante o preparo do solo que procederá o primeiro plantio (leguminosas para adubação verde). As restantes deverão ser aplicadas quando dos preparos de solo subsequentes.

A adubação de manutenção deverá ser feita antecedendo o plantio, de acordo com as necessidades de cada cultura a ser utilizada. Esta adubação visa repor os nutrientes retirados em cada colheita e funcionar como elemento de arrancada na fase inicial de crescimento da cultura, favorecendo-a na coerência com as plantas invasoras.

### **c) Aumento do Teor de Matéria Orgânica**

Esta será uma prática fundamental ao melhoramento das características físicas e químicas da camada dos solos, aumentando a capacidade de retenção de umidade e dos nutrientes que venham a ser incorporados através de adubações, liberando elementos nutritivos para as plantas durante sua mineração, facilitando as práticas de preparo e cultivo da terra, e diminuindo o desgaste das máquinas e implementos agrícolas, ocasionado pelas partículas minerais constituintes destes solos, como mencionado anteriormente.

Pode-se, seguramente, afirmar que o aumento dos teores de matéria orgânica, a um nível razoável, deverá ser a principal meta a ser atingida, visando uma exploração agrícola com resposta condizente a uma agricultura irrigada de nível avançado.

Este aumento, que se prevê alcançar de forma gradativa, deverá ser através de adubação verde, incorporação de restos culturais e estrume. Na área é comum a utilização da palha da carnaúba na adubação dos cultivos hortigranjeiros.

A prática de adubação verde deverá ser baseada na incorporação de leguminosas apropriadas para as condições climáticas da região, cultivada após uma adubação corretiva dos solos e com o emprego de adubação e manutenção adequadas.

A adição de restos culturais e de estrume deverá tornar-se uma prática rotineira após o início da exploração dos lotes agrícolas.

### **d) Manejo do solo**

As práticas agrícolas a serem aplicadas na área deverão garantir a obtenção das maiores colheitas possíveis com a manutenção da produtividade das terras. Atenção especial deverá ser dada à textura arenosa dos solos, a qual constitui um dos principais condicionantes para o seu uso agrícola. Dentre tais práticas cabe destacar:

O uso de máquinas deve ser reduzido e cuidadosamente planejado afim de se evitar a degradação da bioestrutura do solo, a compactação, a maior exposição aos processos erosivos, etc., procurando-se realizar, quando necessário, o preparo do solo num ótimo estado de umidade,

revolvendo-o o mínimo possível e de uma forma bastante superficial, devendo as operações serem realizadas com máquinas leves;

Os programas de desmatamento e limpeza do terreno para a implantação das culturas devem prever que o mesmo seja processado de forma gradual à medida que as terras vão sendo ocupadas pelas culturas, evitando-se que o solo fique desprotegido e exposto a efeitos prejudiciais da forte insolação e do vento, assim como deve-se evitar a remoção da camada superficial dos solos, haja visto que apresentam horizonte A pouco espesso e pobre em matéria orgânica;

Não há necessidade de cuidados especiais quanto à drenagem na maior parte da área, já que os solos apresentam permeabilidade alta e existem na área depressões que constituem drenos naturais. A aplicação do método por aspersão ou gotejamento também dispensará a necessidade de drenagem, já que os mesmos não proporcionam excedentes hídricos significativo.

#### **e) Produção de semente e mudas**

A incipiente experiência agrícola tornará obrigatória a importação de sementes nos primeiros estágios de implantação de quaisquer projeto hidroagrícola. Porém, razões de ordem econômica e mesmo exigências de natureza agrônômica sugerem necessidade imediata de campos para a produção de sementes e, especialmente, mudas para as plantações que venham a ser desenvolvidas na área, procurando espécies e variedades adaptadas às condições ecológicas locais que possam oferecer produções compensadoras com irrigação. Tais campos deverão ser desenvolvidos preferencialmente nas terras que apresentam melhores características agrícolas.

Superada a limitação do deficit hídrico por meio da irrigação, as áreas poderão produzir as mais variadas culturas tropicais, tanto de ciclo curto como permanentes, com a vantagem de se poder obter até mais de duas colheitas por ano com algumas culturas, haja visto a pequena variação de algumas características climáticas como temperatura, insolação e luminosidade. A escolha das culturas deverá obedecer pesquisas de mercado.

**Quadro 2.2: Resumo**

Unidade de solo	Classe da terra	Aptidão cultural	Área(ha)
RQo1 RQo2	S3s	Diversas culturas, tanto do ciclo curto como o de ciclo longo, bem como para fronteiras em geral (goiaba, manga, maracujá, acerola, graviola, uva, citrus, mamão, caju, coco, melancia, etc.). Grãos (amendoim, feijão, gergilim, milho, mamona). Hortaliças (pimentão, tomate, alface, verduras foliares em geral).	972,00
RQo3	6s	Cultivos de subsistência em sequeiro milho, feijão, mandioca.	362,43
RRq e RU	6sd	Cultivo de capim em sequeiro para o gado e reserva natural.	658,5
<b>ÁREA TOTAL</b>			<b>1.992.93</b>

### 3. ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

### 3. ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

#### 3.1. GENERALIDADES

Este capítulo compila os resultados dos Estudos Hidrológicos do sistema abastecido pelas barragens Lontras e Inhuçu Sotero e engloba, análise dos dados climatológicos, morfologia das bacias e estudo das chuvas intensas.

O Estudo Hidrológico tem duplo objetivo:

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

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

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

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

No que se refere especificamente às capacidades máximas de acumulação dos reservatórios projetados na bacia do rio Inhuçu, o Marco Regulatório estabelece no seu Art.14º que “A capacidade máxima de acumulação para os novos açudes a serem construídos na bacia do rio Inhuçu, no Estado do Ceará, é de 420hm<sup>3</sup>” .

Considerando-se o Cenário A, no qual Lontras é um barramento único, sua capacidade máxima será considerada 350 hm<sup>3</sup>, inferior à máxima permitida, em função de limitação imposta para que a área urbana da sede municipal de Croatá não seja inundada pela bacia hidráulica.

No Cenário B, o Açude Inhuçu (barramento único) será simulado com capacidade de acumulação igual a 100hm<sup>3</sup> e, finalmente no Cenário C, com os dois reservatórios em série, variar-se-á a

capacidade do Inhuçu entre 40 e 100 hm<sup>3</sup> e Lontras entre 350 (limite máximo em função de Croatá) e 320 hm<sup>3</sup> (complemento para a capacidade máxima estipulada pela Resolução).

## 3.2. METODOLOGIA A SER UTILIZADA

### 3.2.1. *Estimativa das cheias máximas*

Usualmente, a determinação da cheia máxima para um dado período de recorrência baseia-se em uma série de registros anteriores de deflúvio naquela seção e, posteriormente, no ajustamento a uma distribuição de probabilidades conhecida. A eficácia deste método, entretanto, depende, em grande parte, da estabilidade das características principais do regime do curso d'água. A inexistência de posto fluviométrico, com medições sistemática de defluxos nos sítios das barragens analisadas, impossibilita o emprego deste método.

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

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

### 3.2.2. *Estimativa da capacidade de regularização do reservatório*

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

## 3.3. ORGANIZAÇÃO DOS ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos foram organizados em três capítulos. O primeiro capítulo trata da apresentação do problema e discorre sobre a maneira como o relatório foi organizado.

O segundo capítulo faz a caracterização climatológica com vistas a permitir uma melhor visão do ambiente onde as barragens Lontras e Inhuçu estão inseridas. São identificados os postos pluviométricos e evaporimétricos existentes nas bacias e selecionados os postos cujos dados serão utilizados em capítulos posteriores.

No terceiro capítulo, é descrita a estrutura hidráulica dos açudes Inhuçu e Lontras e no quarto capítulo é feito o estudo das chuvas intensas nas bacias e calculadas as chuvas com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos.

No presente Relatório Parcial incluímos os quatro capítulos citados. No Relatório Final dos estudos Hidrológicos, serão agregados aos capítulos ora apresentados, o quinto capítulo, onde será avaliado o regime fluvial do rio Lontras/Inhuçu nos sítios das barragens e serão analisados os dados fluviométricos disponíveis na bacia (estudos anteriores e dados históricos de vazão) e selecionada a série a ser utilizada *a posteriori*.

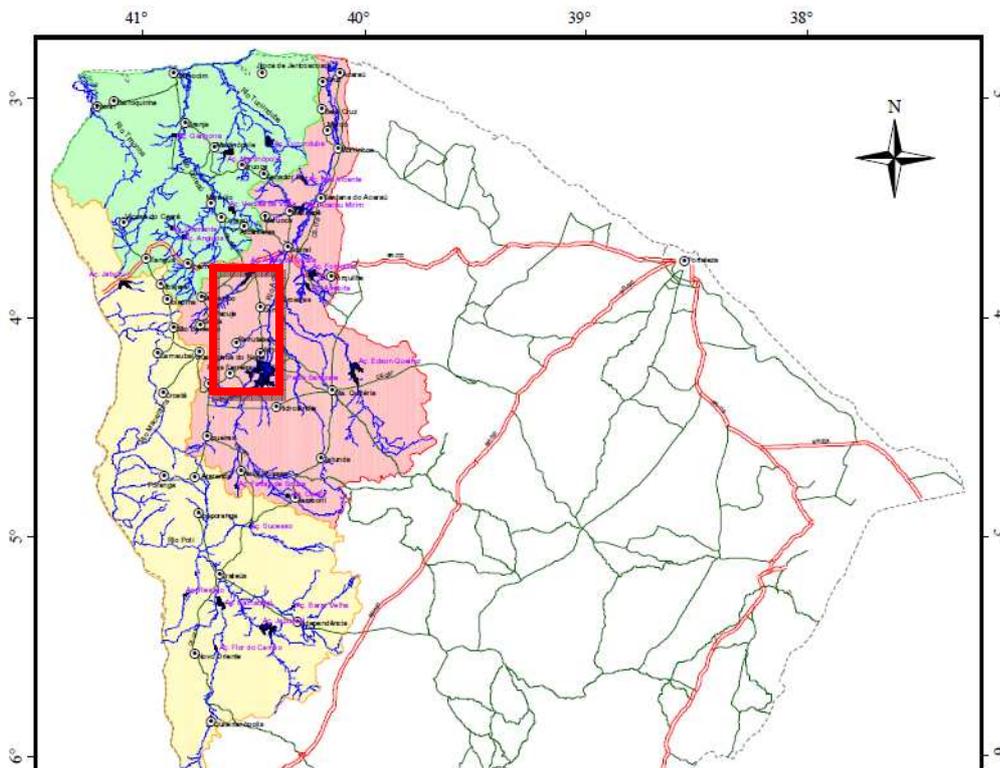
No sexto capítulo serão determinadas as cheias máximas afluentes e efluentes aos barramentos nos três cenários apresentados (isolados e em série), com o software HEC HMS. No sétimo, será determinada a capacidade de regularização dos açudes Lontras e Inhuçu nos cenários definidos utilizando-se o programa computacional SIMRES e, finalmente, o oitavo capítulo tratará das conclusões do trabalho.

### 3.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

O Rio Macambira (Inhuçu/Lontras), afluente do Rio Poti, fica localizado na Serra da Ibiapaba, na porção oeste do Estado do Ceará. Desde a sua nascente até do local Eixo barrável Inhuçu-Sotero, o Rio Macambira percorre cerca de 50 km, drenando uma área de 847 km<sup>2</sup>. A cerca de 25 km a sua jusante, situa-se o Eixo barrável Lontras 1, drenando uma área livre (não controlada pelo barramento a montante) de 567 Km<sup>2</sup>. As principais características da bacia hidrográfica do Rio Macambira, no sítio das barragens Inhuçu e Lontras (Cenários A, B e C) podem ser observadas no **Quadro 3.1**. A localização da área de estudo, em relação ao Estado do Ceará e bacias vizinhas, pode ser observada na **Figura 3.1**.

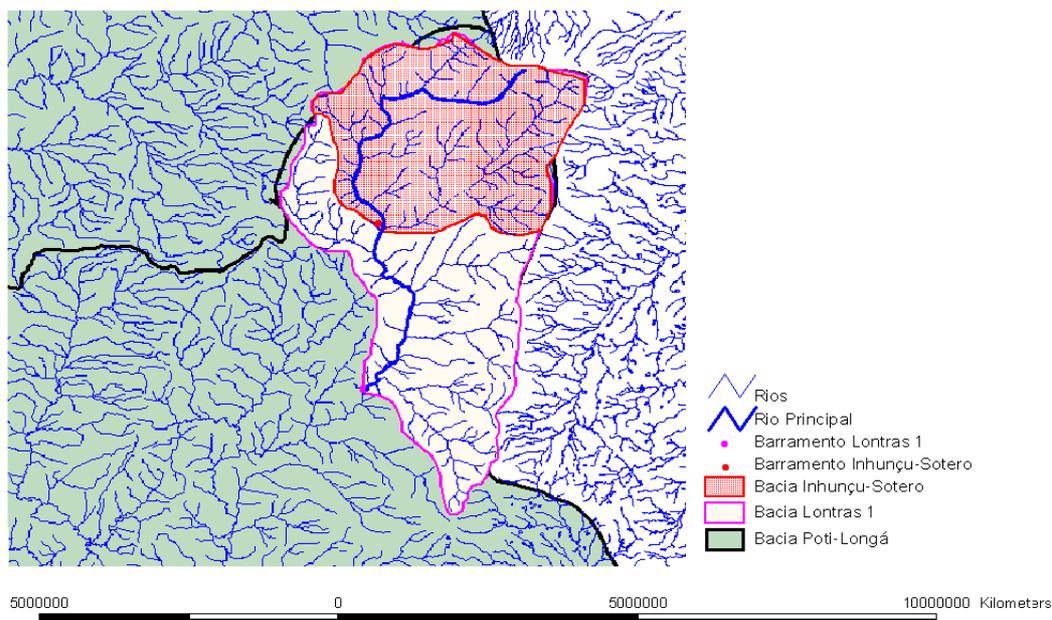
**Quadro 3.1: Características da bacia hidrográfica do rio macambira nos Eixos barráveis**

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



**Figura 3.1: Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará**

A hidrografia da bacia dos açudes Inhuçu e Lontras (área livre) são apresentadas na **Figura 2.2**.



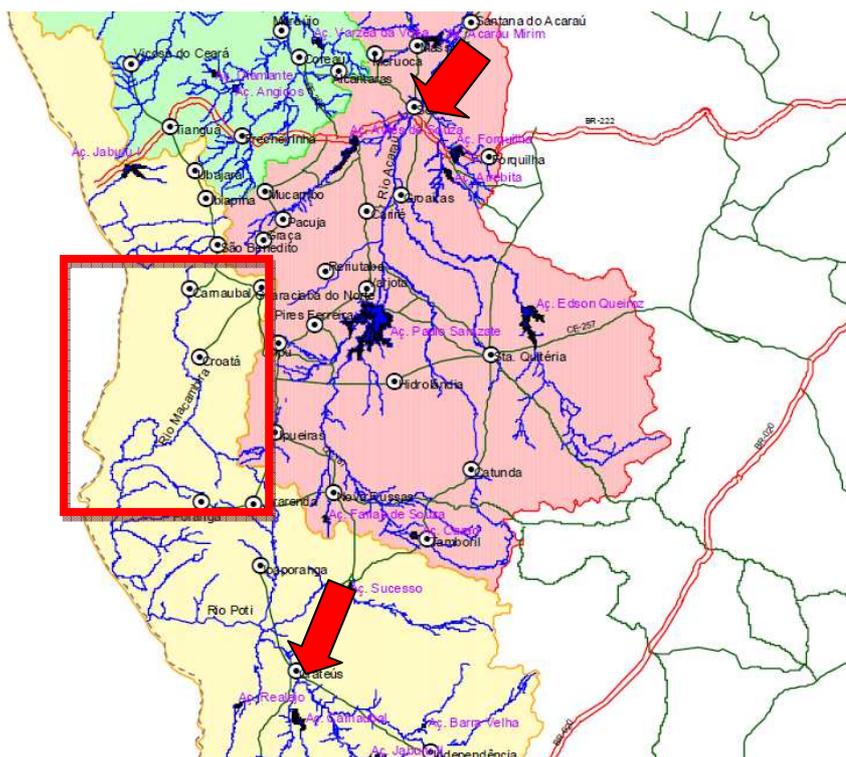
**Figura 3.2: Hidrografia da bacia dos açudes Inhuçu e Lontras**

### 3.5. CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

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

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

Existem quatorze estações climatológicas no Estado do Ceará pertencentes ao INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – das quais duas se situam nas proximidades da área em estudo: Sobral (na bacia vizinha do Rio Acaraú) e Crateús (na própria bacia do Rio Poti) (**Figura 3.3**). As características das estações climatológicas mencionadas encontram-se no **Quadro 3.2**.



**Figura 3.3: Localização das estações climatológicas de sobral e crateús em relação à bacia hidrográfica do rio Inhuçu/Lontras (retângulo em vermelho)**

**Quadro 3.2: Características das Estações Climatológicas Sobral e Crateús**

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

Fonte: INMET (1990)

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

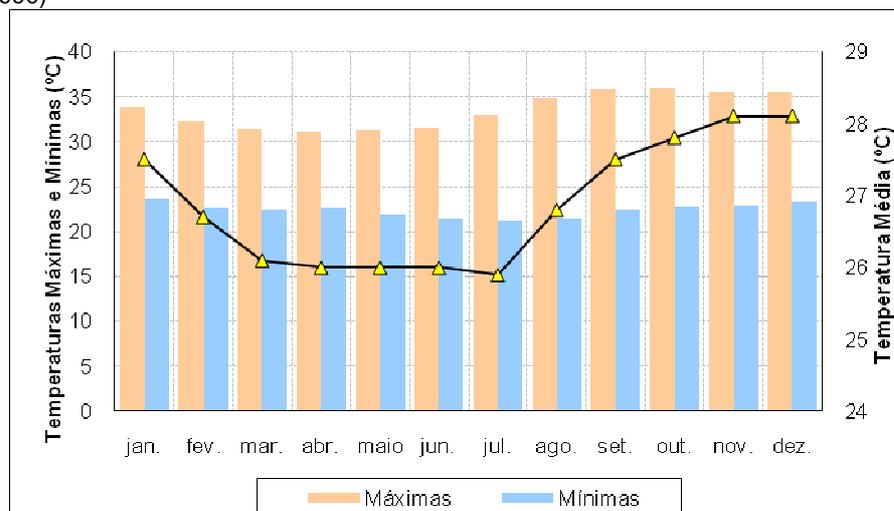
### 3.5.1. Temperatura

O regime térmico das bacias é caracterizado por temperaturas médias em torno de 27°C. Os valores máximos ocorrem nos meses de setembro a dezembro e os mínimos, nos meses de abril a julho, durante a quadra chuvosa. No **Quadro 3.3** e na **Figura 3.4** são apresentados os valores de temperaturas médias, máximas e mínimas na estação Sobral.

**Quadro 3.3: Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias (°C) na Área em Estudo**

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

Fonte: INMET (1990)



Fonte: INMET (1990)

**Figura 3.4: Temperaturas Máximas, Médias e Mínimas na Área em Estudo (em °C).**

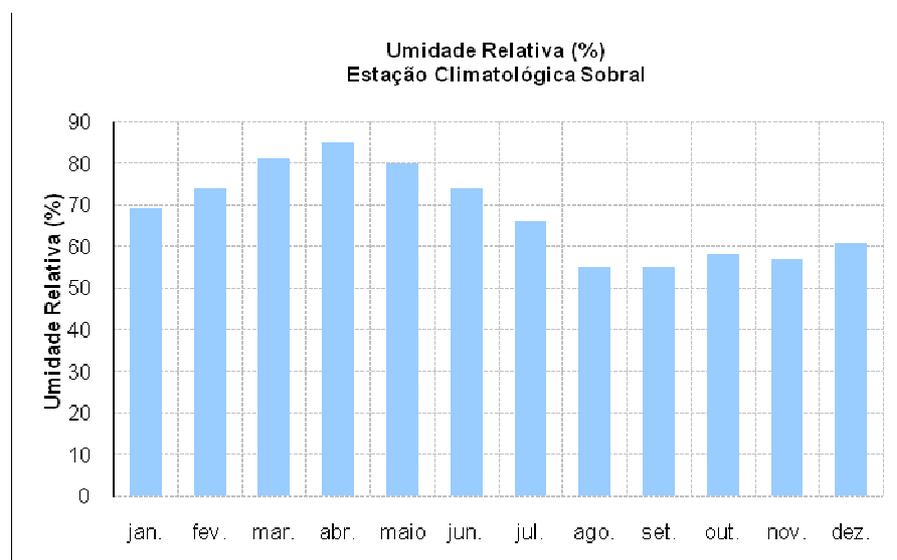
### 3.5.2. Umidade Relativa

A umidade média anual na região se situa em torno de 70%. As variações mensais estão intimamente relacionadas às irregularidades temporais do regime pluviométrico. A estação de Sobral (considerada como característica da região) apresenta maiores valores de umidade nos meses de março a maio; o período menos úmido, em termos gerais, se situa no segundo semestre do ano, nos meses de agosto a novembro, como pode ser observado no **Quadro 3.4** e na **Figura 3.5**.

**Quadro 3.4: Umidade Relativa na Área em Estudo (em %)**

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

Fonte: INMET (1990)



**Figura 3.5: Umidade relativa (%) na Área em Estudo**

### 3.5.3. Evaporação

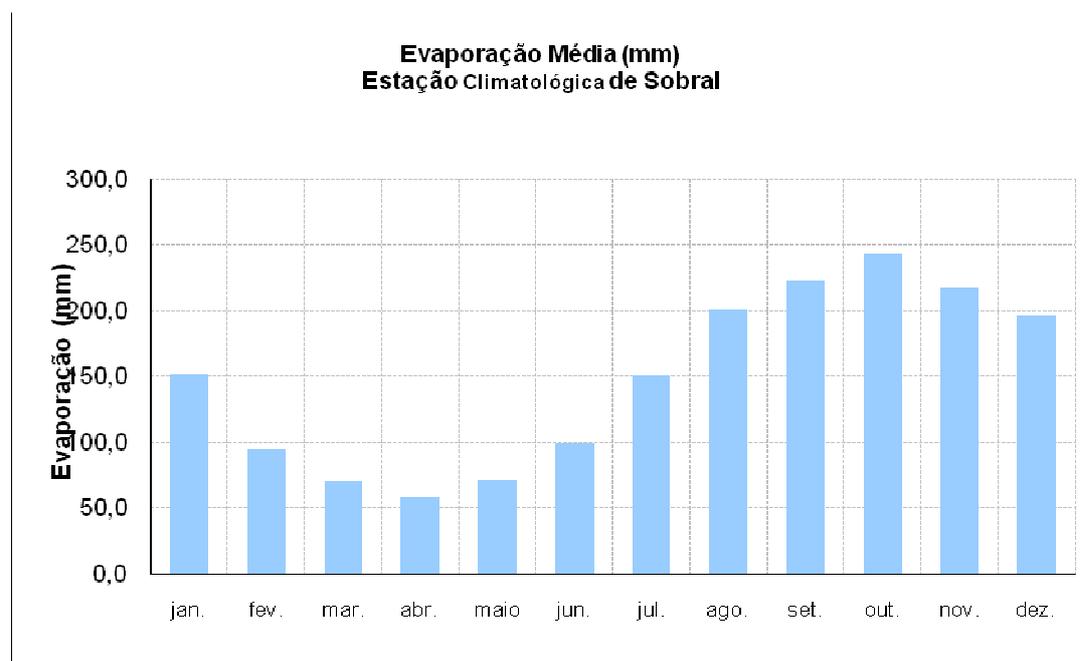
A evaporação anual média observada é de 1.774,8 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o **Quadro 3.5** e **Figura 3.6**. Apenas para termos comparativos, a evaporação em Crateús é da ordem de 2.822,3mm.

**Quadro 3.5: Evaporação mensal média na Área em Estudo (mm)**

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sobral	151,8	94,3	69,7	58,4	71,0	99,3	150,2	200,8	222,8	242,7	217,7	196,1	1.774,8

Fonte: INMET (1990)

Os dados do **Quadro 3.5** se referem à medições com tubo Piché e não com tanque Classe A. Considerando que as condições de exposição dos dois tipos de evaporímetros são bastante diferentes, é de se esperar que eles não apresentem os mesmos resultados como medida da evaporação. Estudos realizados em estações climatológicas no Nordeste, nas quais os dois tipos de medições estavam disponíveis, indicam que os valores de evaporação medidos pelo tanque Classe “A são cerca de 20% a 30% maiores que àqueles medidos pelo tubo Piché (PERH-RN,1999). Assim sendo, neste estudo, quando se utilizar dados de evaporação, não utilizar-se-á o coeficiente de redução de evaporação  $K_a$  proposto por Molle e Cadier (1989).



Fonte: Fonte: INMET (1990)

**Figura 3.6: Evaporação média mensal na Área em Estudo**

### 3.5.4. Evapotranspiração Potencial

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

O Método de Penman-Monteith é baseado no efeito combinado do transporte convectivo das massas de ar e da radiação líquida, conforme **Equação 3.1**.

$$\lambda_e \cdot ET_{pot} = \frac{\Delta_{vap}(R_n - G) + \rho_{ar} \cdot c_p \left( \frac{e_s - e_a}{r_a} \right)}{\Delta_{vap} + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$

(1)

Onde:  $ET_{pot}$  - evapotranspiração potencial,  $\lambda_e$  - entalpia da evaporação da água,  $\Delta_{vap}$  - curva que descreve a pressão de saturação do vapor d'água,  $e_a$  - pressão de saturação do vapor,  $\gamma$  - constante do psicrômetro,  $r_s$  - bulk resistance resistance,  $r_a$  - resistência aerodinâmica,  $R_n$  - balanço de radiação,  $G$  - fluxo de calor através do solo e  $T_{ar}$  - a temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ).

O Método de Hargreaves tem sido comumente utilizado no Nordeste Brasileiro para o cálculo da Evapotranspiração Potencial. De fácil utilização, o método fornece a  $E_{tp}$  em função da temperatura média compensada, da umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado, conforme **Equação 3.2**:

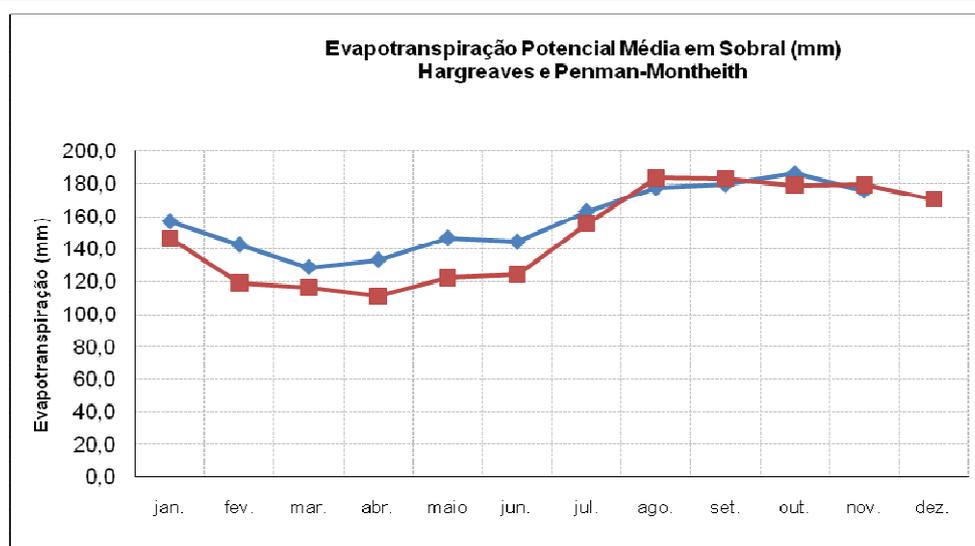
$$ETP = F \cdot (100 - U)^{1/2} \cdot 0,158 \cdot (32 + 1,8 T_{comp}) \quad (2)$$

onde:  $F$  - Fator dependente da latitude (adimensional);  $T_{comp}$  - Temperatura média compensada em  $^{\circ}C$  e  $U$  - Umidade relativa do ar (%).

A evapotranspiração anual média estimada por Hargreaves é de 1.895,5mm e por Penman-Montheith é de 1.790,7mm, distribuída ao longo dos meses segundo o **Quadro 3.6** e a **Figura 3.7**.

**Quadro 3.6: Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)**

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



**Figura 3.7: Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)**

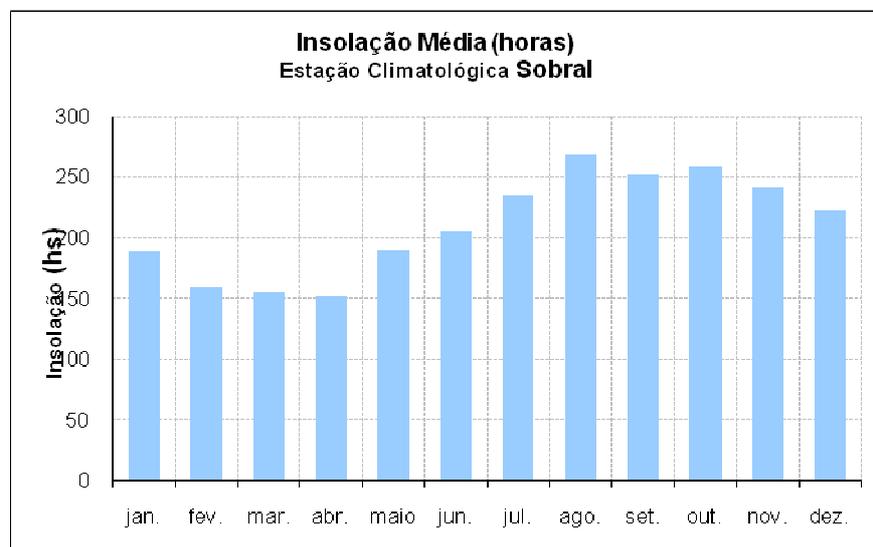
### 3.5.5. Insolação

O **Quadro 3.7**, juntamente com a **Figura 3.8**, mostram o número médio de horas de exposição ao sol, e sua distribuição mensal, na estação meteorológica Sobral. Em escala anual, a insolação na região se situa em torno de 2.525,2 horas, sendo os meses de menor insolação àqueles correspondentes ao período chuvoso, devido à presença de nebulosidade.

**Quadro 3.7: Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)**

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

Fonte: INMET (1990)



Fonte: Fonte: INMET (1990)

**Figura 3.8: Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)**

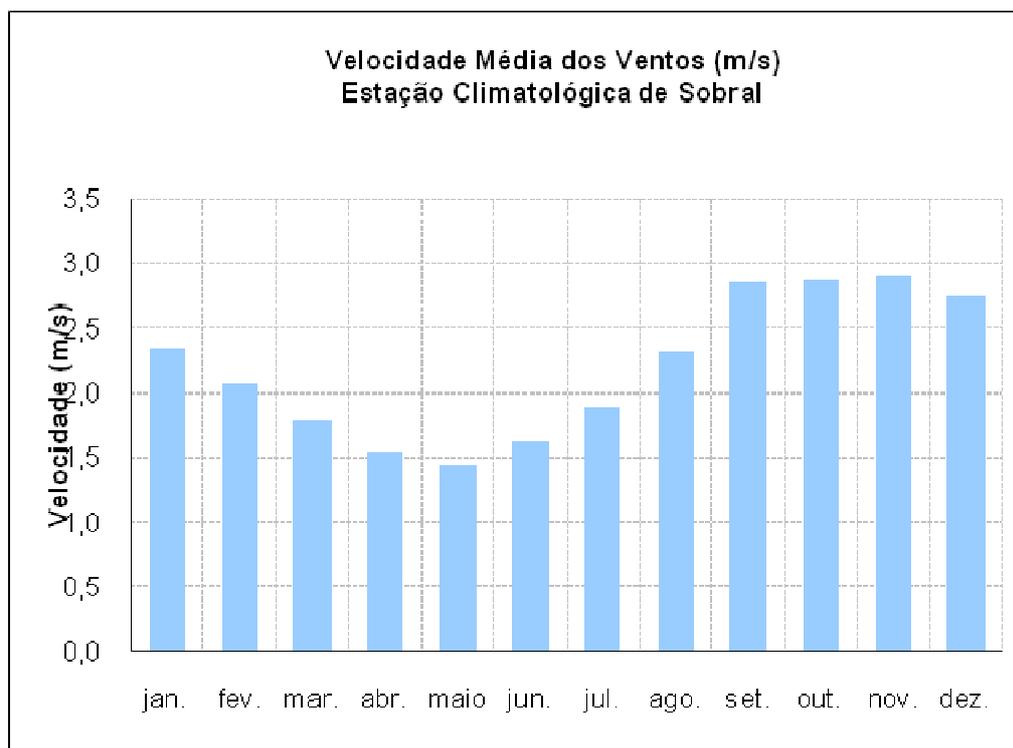
### 3.5.6. Velocidade dos Ventos

A insolação média anual é de 2,2 m/s, distribuída ao longo dos meses conforme **Quadro 3.8** e **Figura 3.9**.

**Quadro 3.8: Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s)**

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

Fonte: INMET (1990)

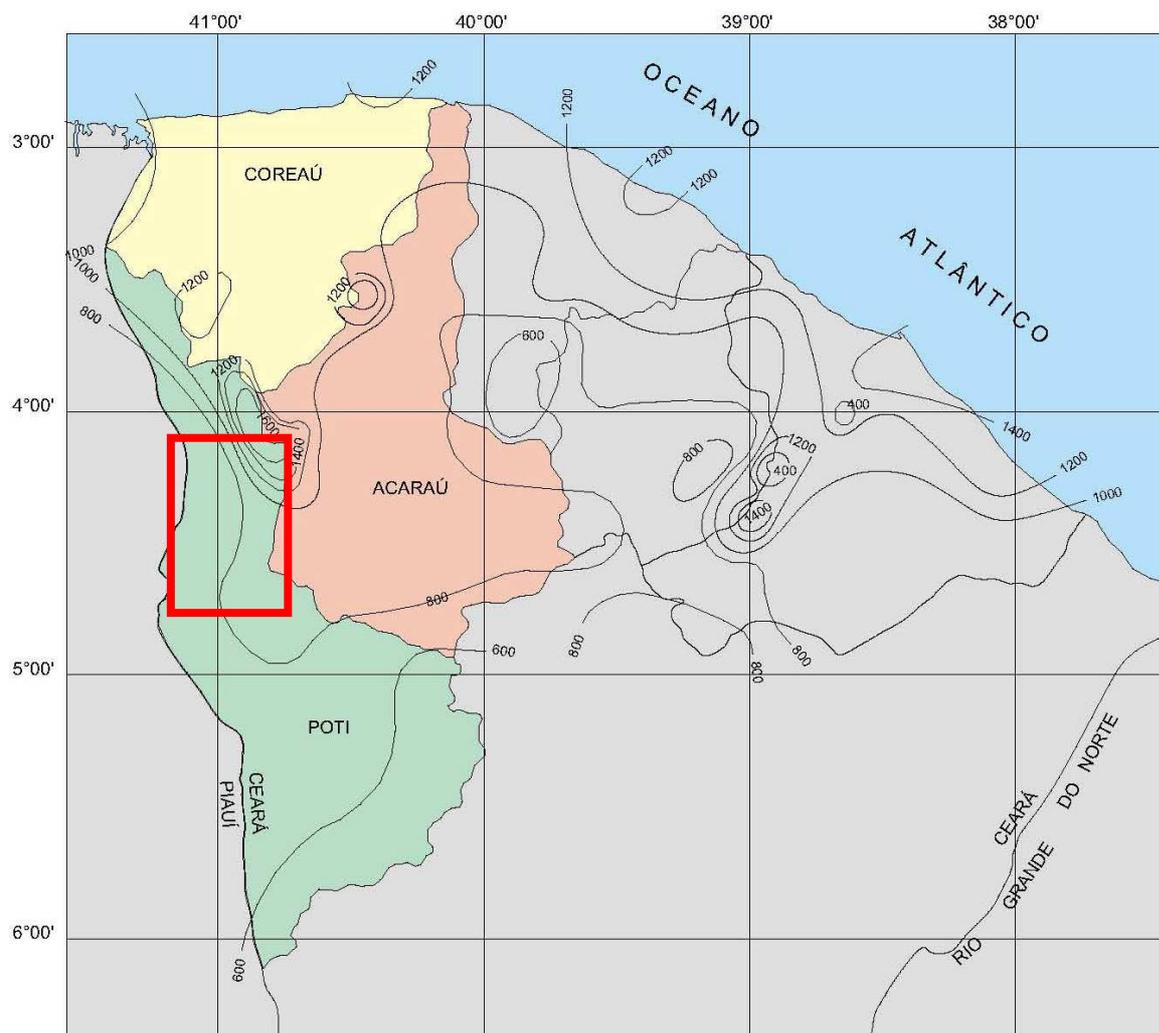


Fonte: INMET (1990)

**Figura 3.9: Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s)**

### 3.5.7. Regime de Chuvas

A **Figura 3.10** apresenta as isoietas da Bacia do Poti traçadas pelo Diagnóstico, dos Estudos Básicos e dos Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba (SRH/Consortio Montgomery Watson/Engesoft, 2000). Observa-se uma alta pluviometria na porção nordeste da bacia (marcada com retângulo vermelho), justificada pela influência da Serra da Ibiapaba, com índices que chegam a mais de 1.000mm. No entanto, uma região de maior aridez, com índice inferior a 800 mm, abrange parcela significativa da região em estudo e quase toda a bacia do rio Poti.



**Figura 3.10: Isoietas das bacias do poti, acaraú e coreaú (retângulo em vermelho marca a área em estudo)**

A consultar-se o banco de dados hidrológicos Hidroweb, da Agência Nacional de Águas, verificou-se que existem 22 postos pluviométricos nas proximidades e no interior da bacia estudada. O **Quadro 3.9** mostra a disponibilidade de dados nos postos avaliados.

**Quadro 3.9: Postos Pluviométricos e Extensões das séries históricas**

Posto	Código	Município	Período
Ubajara	00340031	Ubajara	1912 - 2011
Poço da Areia	00341039	Ubajara	1996-2011
Cristália	00441017	Ubajara	Sem dados
Ibiapina	00340018	Ibiapina	1912-2011
Sto Antonio da Pindoba	00341014	Ibiapina	1962-1990
São Benedito	00440026	São Benedito	1912-73
São Benedito	00440030	São Benedito	1974-2011
Sítio Faveira	00440066	São Benedito	1994-2011
Carnaubal	00440004	Carnaubal	1962-2011
São José	00440072	Carnaubal	1994
Guaraciaba do Norte	00440023	Guaraciaba do Norte	1912-2011
Guaraciaba do Norte	00440024	Guaraciaba do Norte	Sem dados
Sítio Várzea Redonda	00440048	Guaraciaba do Norte	1994-2011
Correios	00440049	Guaraciaba do Norte	Sem dados
Picada	00440050	Guaraciaba do Norte	2001-2011
Limoeiro	00440051	Guaraciaba do Norte	2001-2011
Morrinhos Novos	00440074	Guaraciaba do Norte	2001-2010
Croatá	00440005	Croatá	1962-2011
Croatá	00440047	Croatá	1974-2011
Santa Tereza	00440015	Croatá	1994-2011
Gazea	00440012	Ipueiras	1962-1992
São José das Lontras	00440059	Ipueiras	1934-1962 e 2000-2010

A **Figura 3.11** apresenta o Polígono de Thiessen para a área estudada. Para se obter a série histórica de maior extensão (com um período em comum a todos os postos) optou-se por calcular o polígono de Thiessen apenas considerando três postos – Guaraciaba do Norte, Croatá e Carnaubal - todos no interior da área em estudo.



**Figura 3.11: Polígono de Thiessen da área em estudo, com as áreas de influência de cada posto**

A série histórica calculada para a área em estudo pelo Polígono de Thiessen encontra-se no **Quadro 3.10**.

**Quadro 3.10: Precipitação Média anual sobre a bacia dos açudes Inhuçu e Lontras**

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

Ano	P (mm)	Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
1978	932,9	1998	714,3		
1979	1049,6	1999	1003,9		
1980	785,3	2000	1540,8		
1981	977,8	2001	853,1		

As características dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal encontram-se no **Quadro 3.11**.

**Quadro 3.11: Características dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal**

Município	Posto	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período	Operadora
Croatá	Croatá	00440005	4:24:59 S	40:54:15 W	820	1962 - 2010	ANA
Guaraciaba do Norte	Guaraciaba do Norte	00440023	4:11 S	40:45 W	380	1912 - 2010	FUNCEME
Carnaubal	Carnaubal	00440004	4:10 S	40:57 W	700	1962 - 2010	FUNCEME

Fonte: Banco de dados Hidroweb

A distribuição das precipitações mensais nestes postos é mostrada no **Quadro 3.12**.

**Quadro 3.12: Precipitação média mensal dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal**

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Croatá	73,4	92,9	143,3	156,4	66,9	20,5	7,2	0,4	0,0	0,8	4,8	33,1	599,70
Guaraciaba do Norte	122,8	204,5	319,5	290,4	160,2	59,4	26,6	8,5	3,2	6,4	16,1	42,0	1.259,60
Carnaubal	70,8	74,4	143,1	184,6	61,4	18,3	4,5	1,4	0,0	0,7	2,9	14,8	576,90
Bacia	82,8	110,8	179,4	191,5	84,6	27,9	10,5	2,3	0,7	1,9	6,6	30,0	729,0

Fonte: Banco de dados Hidroweb

Observa-se nas **Figuras 3.12 a 3.14** que o regime de chuvas nos postos em questão e na bacia em estudo é o da região norte do Nordeste. Percebe-se, pela distribuição sazonal das chuvas, que o principal sistema atuante na bacia é a *Zona de Convergência Intertropical* responsável pelas chuvas de março a maio. Em caráter secundário, atuam os *Sistemas Frontais*, de dezembro a janeiro, e, em menor escala, as *Ondas de Leste*, responsáveis pelas chuvas de junho a agosto; os três sistemas agindo conjuntamente.

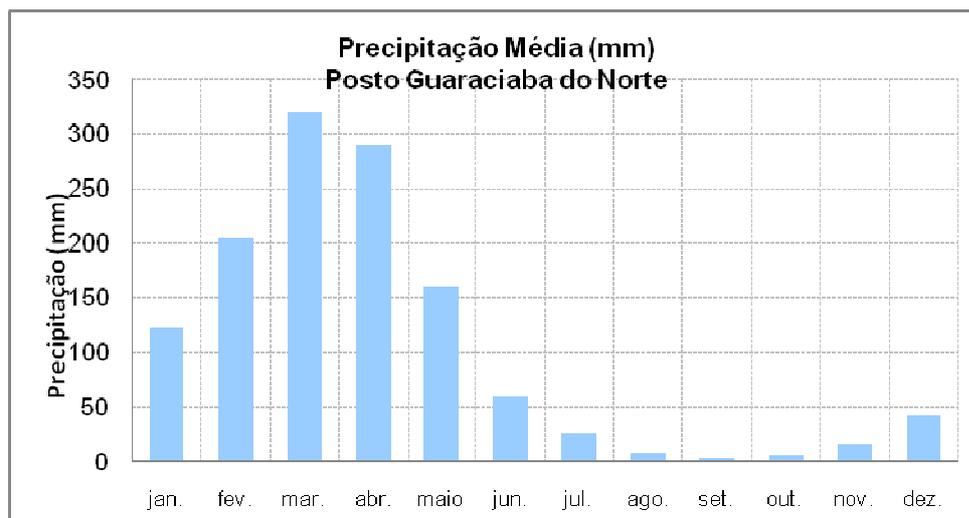


Figura 3.12: O regime de chuvas no posto Guaraciaba do norte

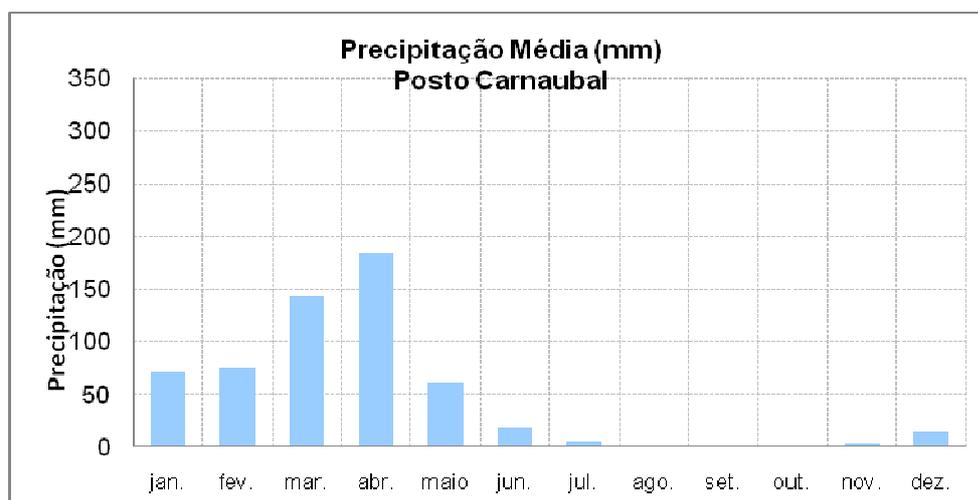


Figura 3.13: O regime de chuvas no posto carnaubal

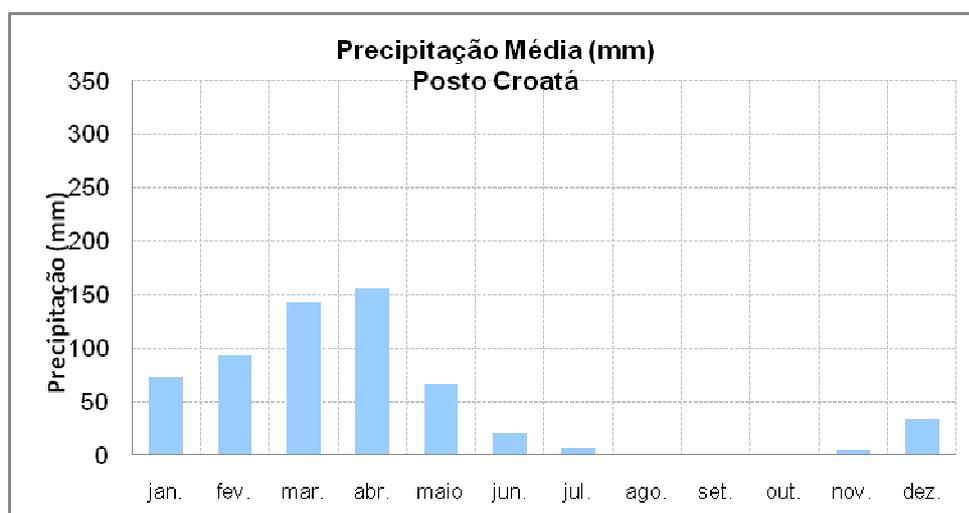


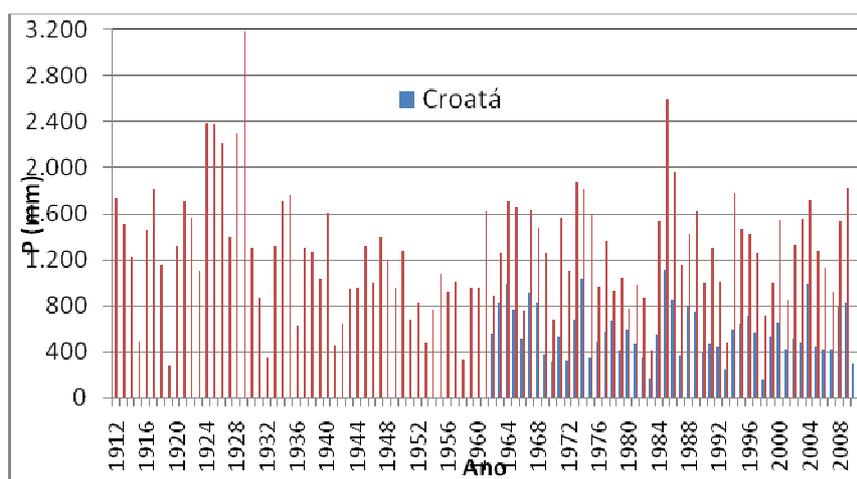
Figura 3.14: O regime de chuvas no Posto Croatá

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

### 3.5.8. A Variabilidade Interanual das Chuvas na Bacia dos açudes Inhuçu e Lontras

Uma característica marcante das chuvas da região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro, região onde as bacias se inserem, é a imensa variabilidade espacial e temporal das suas chuvas. A variabilidade temporal se dá em duas escalas de tempo – a intra-anual e a interanual. No que se refere à variabilidade intra-anual ele se mostra na sazonalidade das chuvas – um período chuvoso bem definido (o ‘inverno’) e um período seco, mais longo (**Figuras 3.12 a 3.14**). No que se refere à variabilidade interanual, é a maior do mundo, somente comparável ao noroeste da Austrália. Anos extremamente chuvosos e extremamente secos se intercalam de maneira tão irregular que dificulta sobremaneira a previsão do total precipitado durante a estação chuvosa.

A **Figura 3.15** mostra os totais anuais precipitados nos postos pluviométricos de Croatá e Guaraciaba do Norte, no interior da bacia. Observa-se anos **extremamente secos** como **1919** (284,7mm em Guaraciaba do Norte) e **1983** (415,8 em Guaraciaba do Norte e 168,1 em Croatá) e **extremamente chuvosos** como **1929** e **1924** (3.186,1mm e 2.392,9, respectivamente, em Guaraciaba do Norte) e **1985** (2.602,0mm em Guaraciaba do Norte e 1.116,8mm em Croatá) na série histórica.



**Figura 3.15: Precipitações anuais nos postos pluviométricos croatá e guaraciaba do norte**

### 3.6. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DOS AÇUDES INHUÇU E LONTRAS

A curva cota x volume do Açude Inhuçu (Eixo Inhuçu-Sotero) e do Açude Lontras (Eixo Lontras 1) encontram-se nos **Quadros 3.13** e **3.14** e **Figuras 3.16** e **3.17**.

**Quadro 3.13: Curva Cota (m) x Volume (hm<sup>3</sup>) do Açude Lontras (Eixo Lontras 1)**

Cota (m)	Volume (hm <sup>3</sup> )
465	0,00
470	0,39
475	2,73
480	9,52
485	22,59
490	43,92
495	80,34
500	126,95
505	180,35
510	248,88
515	335,67
520	442,86
525	575,61
530	750,08
535	970,90
540	1.235,48
545	1.550,26

**Quadro 3.14: Curva Cota (m) x Volume (hm<sup>3</sup>) do Açude Inhuçu (Eixo Inhuçu-sotero)**

Cota	Volume
540	0,00
545	0,02
550	0,32
555	1,26
560	3,18
565	6,46
570	11,51
575	18,77
580	29,00
585	42,93
590	60,94
595	84,44
600	115,71
605	156,84

(\*) Cota do vertedouro

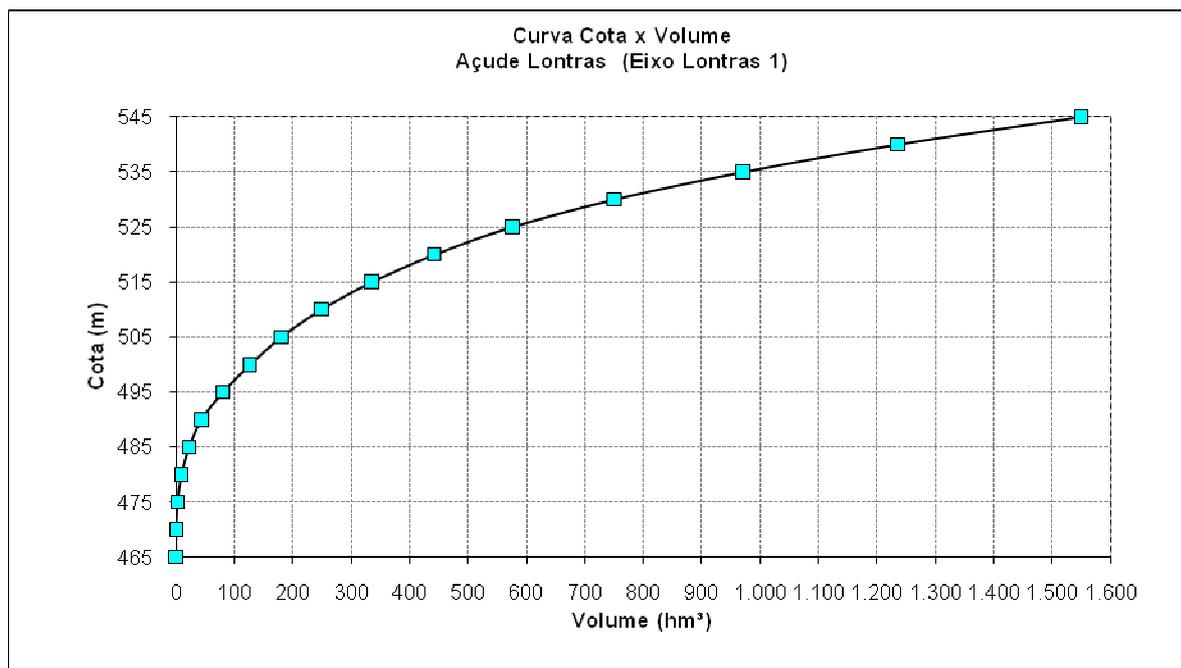


Figura 3.16: Curva Cota (m) x Volume (hm<sup>3</sup>) do Açude Lontras (Eixo Lontras 1)

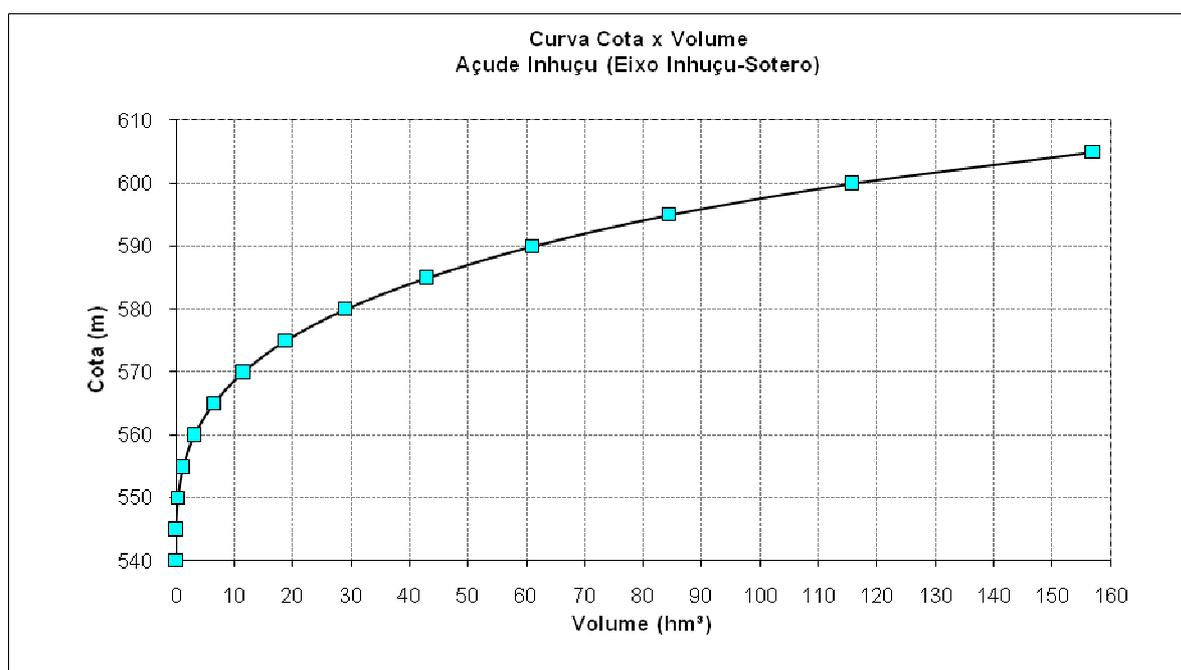


Figura 3.17: Curva Cota (m) x Volume (hm<sup>3</sup>) do Açude Inhuçu (Eixo Inhuçu-sotero)

### 3.7. O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NAS BACIAS DOS AÇUDES INHUÇU E LONTRAS

O presente capítulo tem como objetivo principal a determinação das chuvas intensas, com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, sobre a área drenagem dos Açudes Inhuçu e Lontras. A metodologia utilizada é a das Isozonas (Torrico, 1975). São estimadas ainda as precipitações máximas espaciais com duração de 1 dia sobre as bacias.

Em capítulos posteriores, serão calculadas as cheias máximas afluentes aos barramentos em questão, em diferentes cenários: Cenário A (Inhuçu isolado), Cenário B (Lontras sem Inhuçu a sua montante) e Cenário C (Lontras com Inhuçu a sua montante). Os eixos das barragens situam-se na região denominada Carrasco da Ibiapaba, com baixas pluviosidades; entretanto suas nascente se localizam em altitudes elevadas com precipitações mais que o dobro do restante da bacia. Nos cenários A e B, utilizar-se-á o posto Guaraciaba do Norte como característico da área de cada bacia, já que as chuva ocorridas nas nascentes afluem para os barramentos em questão. No Cenário C (barramentos em série), utilizar-se-á o posto Guaraciaba do Norte para o barramento de montante (Inhuçu), e Croatá para a área livre do barramento de jusante (Lontras), já que as maiores precipitações ficarão retidas no primeiro barramento.

#### 3.7.1. Determinação da Duração da Chuva Crítica

Estudos mostram que as chuvas com duração próxima ao tempo de concentração da bacia fornecem os maiores picos de enchentes para um determinado período de retorno. Esse tempo, definido como aquele em que toda a bacia esteja contribuindo para a vazão de uma dada seção do rio, caracteriza a forma do Hidrograma Unitário e, conseqüentemente, é fator importante na conformação e na descarga máxima da enchente de projeto.

Existem inúmeras fórmulas empíricas para o cálculo do tempo de concentração. Uma das mais utilizadas é a de Kirpich, publicada no "California Culverts Practice":

$$t_c = 57 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (4.1)$$

onde:

$t_c$  = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do curso d'água, em quilômetros, e

H = desnível máximo ao longo de L, em metros.

As características da bacia hidrográfica dos açudes Lontras e Inhuçu, e seus respectivos tempos de concentração, se encontram no **Quadro 3.15**.

**Quadro 3.15: Características das bacias hidrográficas dos açudes Lontras e Inhuçu**

Bacia Hidrográfica	A (km <sup>2</sup> )	L (km)	ΔH (m)	t <sub>c</sub> (h)
Lontras (sem Inhuçu a montante)	1.414,0	75	400	13,8
Inhuçu	847,0	50	320	9,45
Lontras (área livre a jusante de Inhuçu)	567,0	25	80	7,24

### 3.7.2. Os Postos Pluviométricos Potencialmente Utilizáveis

Na área de estudo não existem postos pluviográficos para avaliação direta das chuvas intensas. Quanto a postos pluviométricos, há registros da existência de 22 situados nas imediações, já descritos no Capítulo 2. Alguns postos estão desativados; os ativos, têm uma série histórica pequena ou com muitas falhas. Os de maiores extensão estão contidos no **Quadro 3.16**. Destes, três têm influência na bacia, conforme o polígono de Thiessen em capítulo anterior.

**Quadro 3.16: Postos pluviométricos e Extensões das séries históricas**

Posto	Período
Ubajara	1912 - 2011
Ibiapina	1912 - 2011
Carnaubal	1962 - 2011
Guaraciaba do Norte	1912 - 2011
Croatá	1962 - 2011

Selecionou-se para o estudo de chuvas intensas, os postos de Ubajara, Ibiapina e Guaraciaba do Norte (por suas maiores pluviosidades) e o posto de Croatá (por ter menos falhas que Carnaubal).

### 3.7.3. Metodologia para Cálculo das Chuvas Intensas

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

O método tem por base o uso de "Isozonas", determinadas por Torrico, nas quais as relações entre as alturas de chuva de 1 hora e 24 horas e 6 minutos e 24 horas são constantes para um dado período de retorno (Figura 4.2).

A metodologia empregada obedece a seqüência descrita a seguir:

- Selecionar o posto pluviométrico;
- Selecionar, para cada ano, o valor da precipitação máxima diária e formar a série de máximos anuais;
- Ajustar a série de máximos anuais a uma ou mais distribuições de probabilidade e executar, para cada uma delas, o teste do qui-quadrado para verificar a qualidade do ajustamento;
- Selecionar uma distribuição de probabilidades e estimar, para os períodos de retorno desejados, a chuva intensa de um dia de duração;
- Transformar a chuva de um dia em chuva de 24 horas de duração através da relação

$$P_{24h} = 1,1 P_{1dia} \quad (4.2)$$

- Localizar a isozona do posto estudado e extrair da tabela os valores das relações entre a chuva de 24 horas e as chuvas de 1 hora e de 6 minutos, para os períodos de retorno em estudo;
- Calcular a chuva de 6 minutos hora de duração, através da multiplicação pelo fator R'

$$P_{6min} = R'. P_{24h} \quad (4.3)$$

- Calcular a chuva de 1 hora de duração, através da multiplicação pelo fator R

$$P_{1h} = R. P_{24h} \quad (4.4)$$

- Conversão da chuva pontual em chuva espacial para toda a região pela equação:

$$P_A = P_0 \cdot (1 - W \cdot \log(\frac{A}{A_0})) \quad (4.5)$$

onde:

W = parâmetro regional;

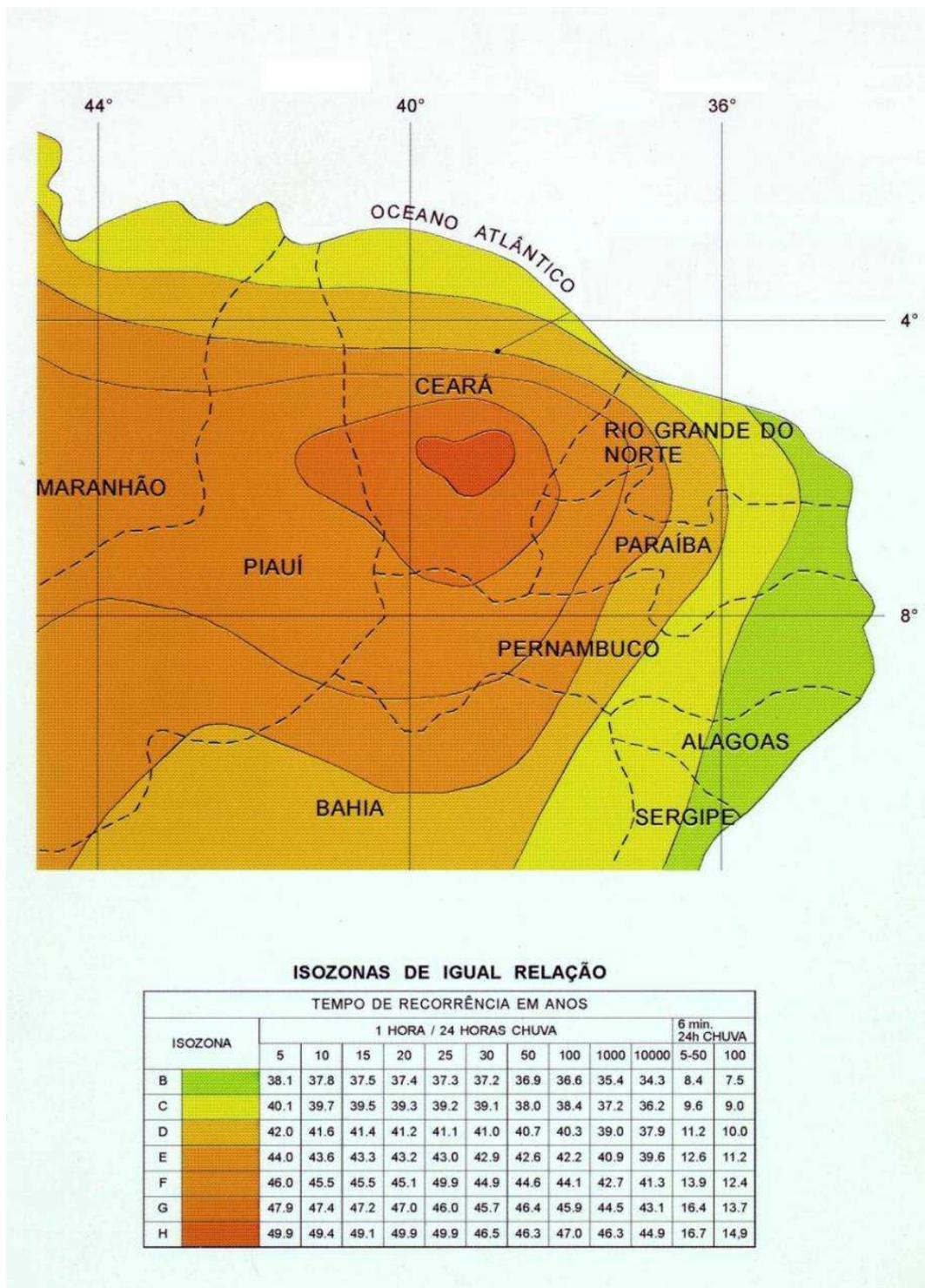
P<sub>A</sub> = Precipitação sobre toda a área;

P<sub>0</sub> = Chuva pontual;

A = Área em estudo;

A<sub>0</sub> = 25 km<sup>2</sup> (área base para chuva pontual)

- Colocar em gráficos em papel probabilístico próprio, os valores P24h e P1h e P24h e P6min e ligá-los através de uma reta para obtenção de chuvas de durações intermediárias.



Fonte: Torrico, 1975

**Figura 3.18: Isozonas de igual relação**

### 3.7.3.1. Seleção da distribuição de probabilidades e estimativas dos valores das precipitações máximas anuais

Os dados diários de precipitação dos postos selecionados foram extraídos do banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas. Calculou-se, para cada ano, as chuvas máximas com duração de 1 dia. Para a série de chuvas máximas anuais foram testados, através do software EXVAL, os ajustamentos a várias distribuições de probabilidades. Os resultados, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, utilizando-se a distribuições de probabilidades Pearson Tipo II (Gama 2 parâmetros), que mostrou um excelente grau de ajustamento, encontram-se no **Quadro 3.17**.

**Quadro 3.17: Precipitações máximas (mm) em Guaraciaba do Norte, Ibiapina, Ubajara e Croatá com durações de 1 dia para períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, seguindo a distribuição Pearson Tipo III**

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

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

### 3.7.3.2. Características das Séries de Chuvas Máximas com 1 dia de Duração

Foram estimadas as principais estatísticas que caracterizam o regime de chuvas (**Quadro 3.18**).

**Quadro 3.18: Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos Guaraciaba do Norte e Croatá**

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

O **Quadro 3.18** ressalta mais uma vez a enorme variabilidade interanual das precipitações e a necessidade de se usar séries as mais extensas possíveis, na região. Na série de máximos de Croatá, os valores variam de 20,8 mm a 64,6 mm. Em Guaraciaba do Norte, de 29,2 a 86,2.

**3.7.3.3. Chuvas máximas com durações de 24 horas**

As chuvas virtuais de 24 horas de duração, contidas no **Quadro 3.19**, foram obtidas multiplicando-se as precipitações contidas no **Quadro 3.20** (postos Guaraciaba do Norte e Croatá) pelo fator 1,10 (para  $P_{1\text{dia}}$ ):

$$P_{24h} = 1,1P_{1\text{dia}} \quad (4.6)$$

**Quadro 3.19: Precipitações máximas para  $T_r = 1.000$  e  $10.000$  anos com duração de 24 horas (em milímetros) nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte**

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

**3.7.3.4. Chuvas Máximas com Duração de 1 hora**

As precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração nos postos Guaraciaba do Norte e Croatá para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos foram obtidas multiplicando-se a chuva pontual de 24 horas (**Quadro 3.19**) pelo fator R:

$$P_{1h} = R \cdot P_{24h} \quad (4.7)$$

Os valores de R, para cada período de retorno, foram extraídos do quadro contido na **Figura 3.18** e os resultados encontram-se no **Quadro 3.20**. A Isozona considerada foi a **D**. Os valores das chuvas pontuais de 1 hora e 24 horas de duração referem-se a uma área de 25 km<sup>2</sup>.

**Quadro 3.20: Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte**

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

### 3.7.3.5. Conversão da chuva pontual em chuva espacial

A conversão de chuva pontual para chuva espacial, sob toda a área de interesse é feita pela equação 4.5, já apresentada anteriormente

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

onde: w = parâmetro regional; P<sub>A</sub> = precipitação sobre toda a área; P<sub>0</sub> = chuva pontual; A = área em estudo e A<sub>0</sub> = 25 km<sup>2</sup> (área base para chuva pontual). Os resultados para chuvas de 1 hora e 24 horas estão expostos na Tabela 4.7.

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

Os **Quadros 3.21 a 3.23** mostram as chuvas espaciais sobre a bacia do Inhuçu, Lontras (sem barramentos a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante), nesta ordem.

**Quadro 3.21: Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km<sup>2</sup> e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Açude Inhuçu (posto guaraciaba do norte)**

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

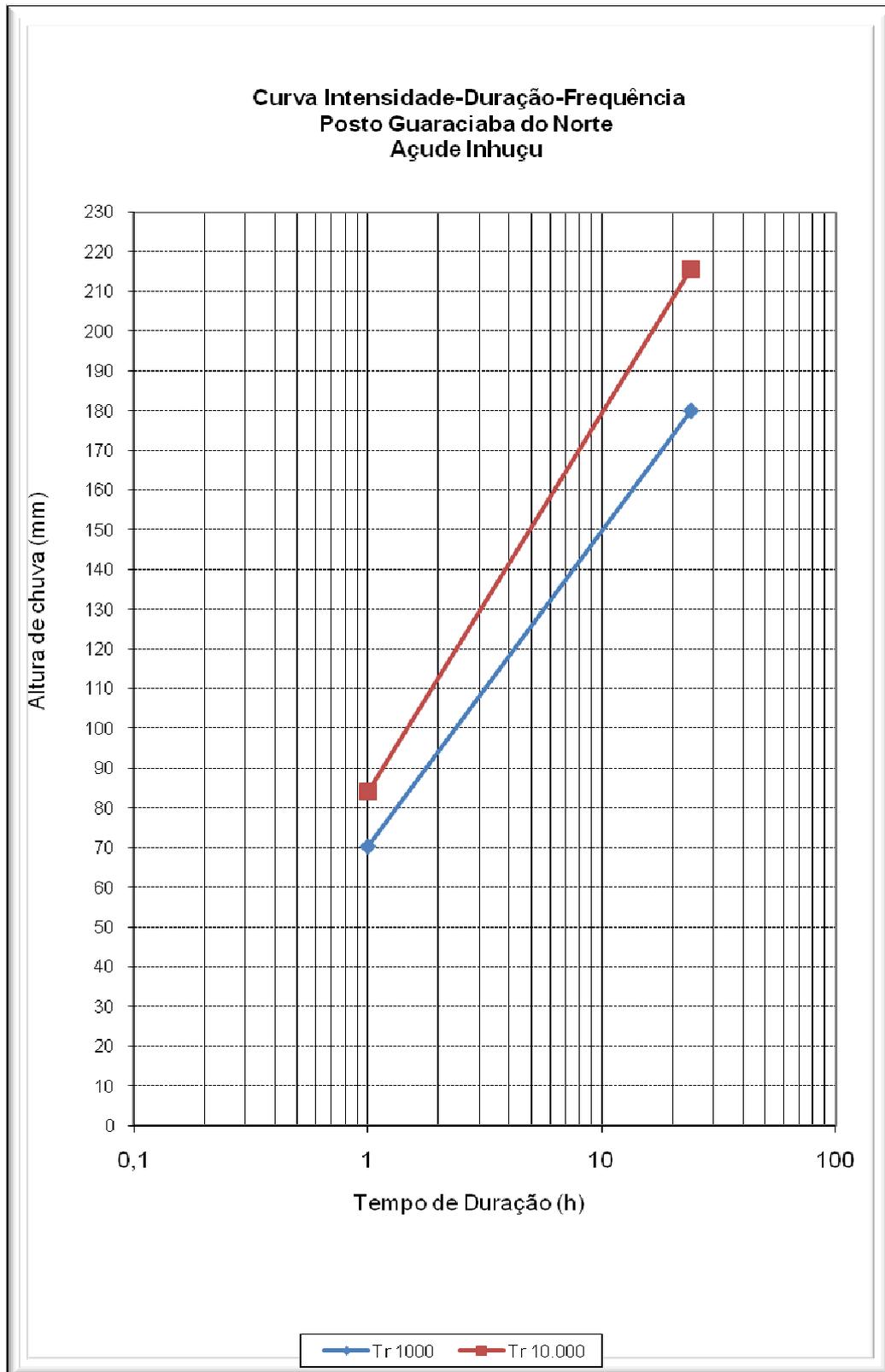
**Quadro 3.22: Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km<sup>2</sup> e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Açude Lontras (sem Açude Inhuçu a montante) (posto guaraciaba do norte)**

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

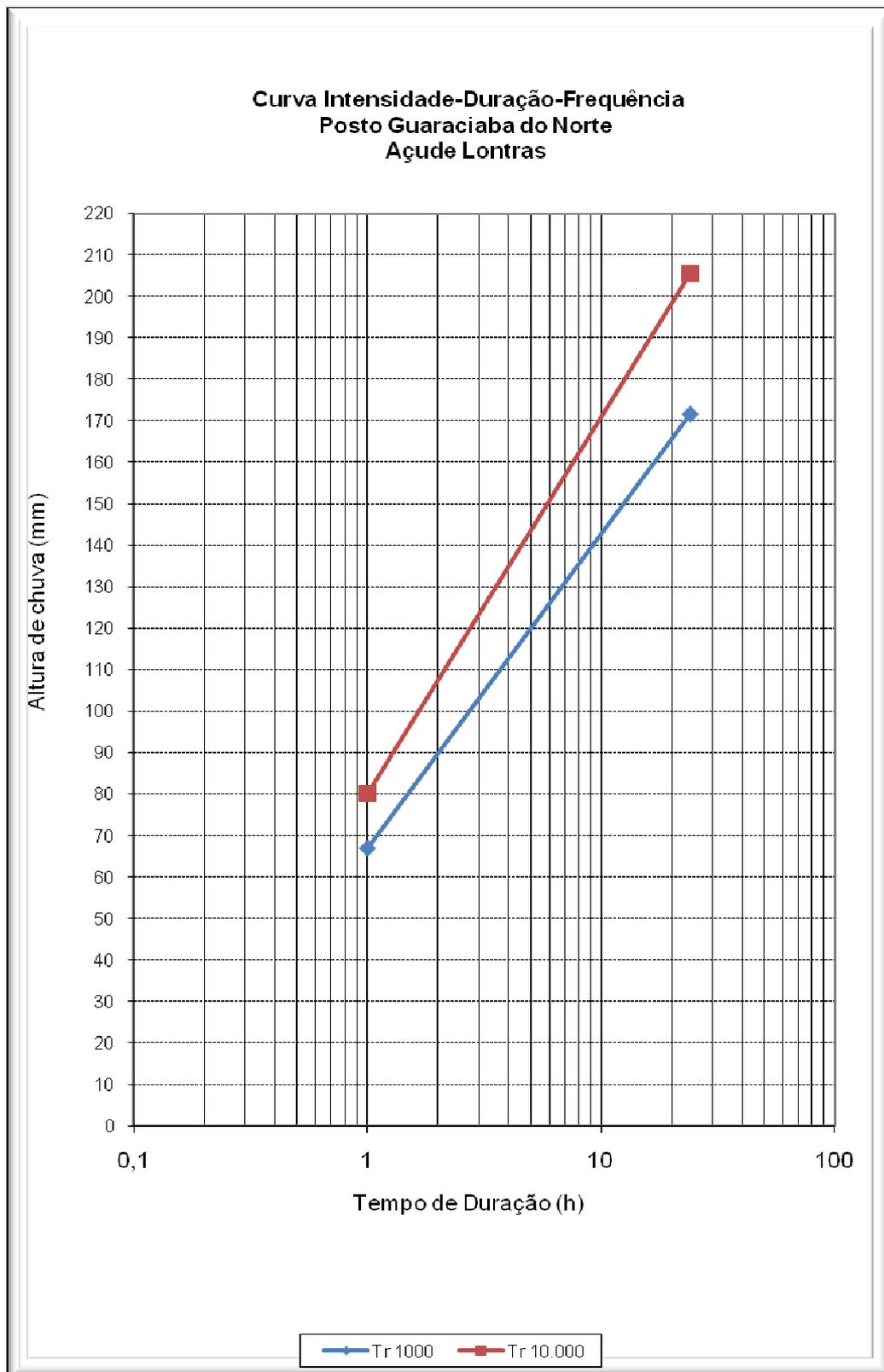
**Quadro 3.23: Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km<sup>2</sup> e precipitação em milímetros) sobre a área livre Bacia do Açude Lontras (Com Açude Inhuçu a montante) (posto Croatá)**

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

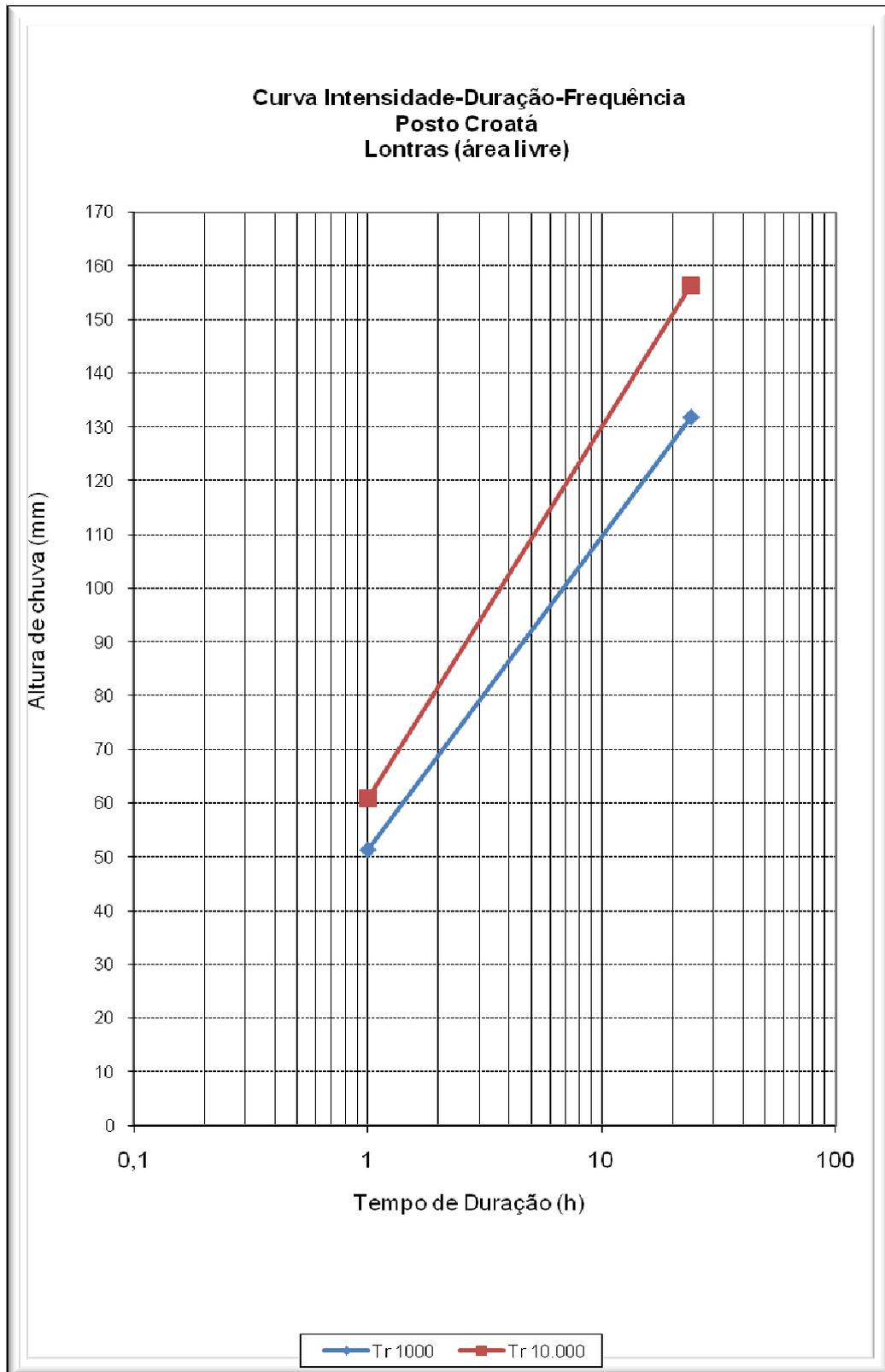
As chuvas intensas espaciais de durações entre 1 e 24 horas podem ser observadas nas **Figuras 3.19 a 3.21**, respectivamente, para a bacia do Inhuçu, Lontras (sem Inhuçu a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante).



**Figura 3.19: Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Inhuçu com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto guaraciaba do norte.**



**Figura 3.20: Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Lontras com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto guaraciaba do norte.**



**Figura 3.21: Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Lontras (Área Livre a jusante do Açude Inhuçu) com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Croatá.**

Para o desenvolvimento da cheia de projeto em capítulo posterior, dois parâmetros devem ser inicialmente estimados: a duração da chuva e o intervalo de tempo para cada incremento de chuva. A duração da chuva deve ser, no mínimo, igual ao tempo de concentração da bacia mas, preferencialmente, mais longa. Uma duração mais longa reflete melhor as condições reais onde, normalmente, uma chuva crítica acontece inserida em uma chuva de maior duração. Assim sendo, embora os tempos de concentração das bacias do Açude Inhuçu, Lontras (sem barramentos a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante), sejam iguais a 9,4 horas, 13,8 horas e 7,2 horas, respectivamente, serão determinadas as suas distribuições acumuladas de chuva ao longo de 24 horas, considerando  $Tr = 1.000$  e  $10.000$  anos (**Quadro 3.24**).

**Quadro 3.24: Distribuição acumulada da chuva sobre as bacias dos Açudes Lontras e Inhuçu, a cada intervalo de 1 hora**

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

Duração da Chuva horas	Inhuçu		Lontras (sem barramento a montante)		Lontras (área livre a jusante de Inhuçu)	
	Tr = 1.000	Tr = 10.000	Tr = 1.000	Tr = 10.000	Tr = 1.000	Tr = 10.000
	21	173,57	207,99	165,19	197,86	127,05
22	175,72	210,54	167,30	200,39	128,60	152,51
23	177,86	213,08	169,41	202,92	130,15	154,38
24	180,00	215,62	171,51	205,46	131,70	156,26

Pelo **Quadro 3.24**, observa-se que as chuvas críticas para a bacia do Açude Inhuçu ( $t_c = 9$ hs) para Tr de 1.000 e 10.000 anos são, respectivamente, 146 e 175 mm. Para a bacia do Açude Lontras (sem barramentos a montante) ( $t_c = 14$ hs), estes valores são 150,4 e 180,1mm. Já para a área livre do Açude Lontras (retirando a área controlada pelo Açude Inhuçu) ( $t_c=7$  hs), os valores encontrados são 100 e 120mm.

## 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ALTERNATIVAS A SEREM ANALISADAS

---

## 4. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ALTERNATIVAS A SEREM ANALISADAS

### 4.1. ALTERNATIVAS DE EIXOS DE BARRAGENS

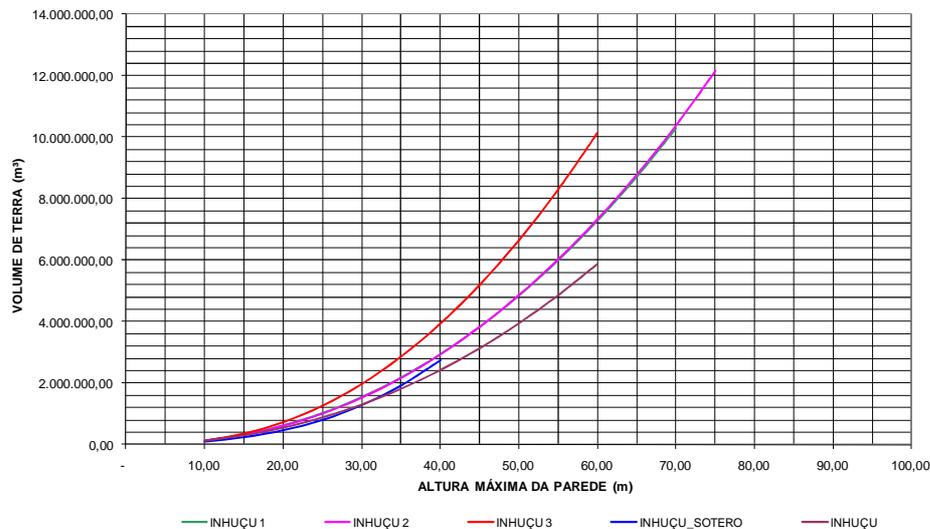
#### 4.1.1. Eixo da barragem Inhuçu

Todos os eixos alternativos, com exceção do Inhuçu/Soteros, transcorrem por vales do tipo U alongado, ou seja, uma extensa planície aluvional ladeada de elevações montanhosas escarpadas. Esta configuração impossibilita a concepção de estruturas de sangria através de escavações nas ombreiras, principalmente pelas dimensões necessárias para escoar as vazões projetadas. No entanto, para as alternativas Inhuçu 3, 2 e 1 é possível localizar a estrutura de vertimento em uma depressão situada no divisor de águas da bacia, aproximadamente nas coordenadas E 280.584 e N 9.514.430. O caudal vertido nesse local cairá no riacho Saco dos Bois, que segue na direção Sudoeste até desembocar no rio Poti, já em terras do estado do Piauí.

O eixo Inhuçu, original do Estudo de Viabilidade elaborado pela Montgomery Watson/Engesoft, apresenta na ombreira direita uma sela topográfica com possibilidades de receber uma estrutura de sangria. As vazões descarregadas nesse ponto voltariam ao rio Inhuçu, por meio de um riacho afluente, no local denominado Volta do Rio, situado a cerca de 2 km a jusante do eixo.

A alternativa Inhuçu/Sotero, com eixo imediatamente a montante da zona urbana de Barra de Sotero, apresenta, na ombreira direita, um contraforte com uma região mais suave que aparentemente pode comportar uma estrutura de sangria. O caudal vertido nesse local retorna ao rio Inhuçu, por meio de um talvegue. Embora ao longo deste talvegue as construções sejam em número reduzido, faz-se necessário estudar uma proteção da margem esquerda do rio para evitar erosões que atinjam as casas da cidade.

Um estudo, apresentado no relatório RIO, que avaliou o volume do maciço em cada alternativa pesquisada para o eixo Inhuçu, para uma mesmo tipo de seção transversal, apontou que o volume necessário para a implantação do maciço no eixo Inhuçu/Soteros, é competitivo com as demais alternativas até a altura do maciço de 40 metros. A seguir representa-se o gráfico que endossa essa conclusão.



**Figura 4.1: Altura máxima da barragem x volume de maciço de terra para as alternativas Inhuçú**

Como as condições geológicas na região são relativamente homogêneas, os problemas de escavação dos sangradouros e a resistência da rocha ao caudal de vertimento não apresentam diferenças significativas entre as alternativas. Apenas as condições do relevo topográfico podem proporcionar diferenças volumétricas nas escavações do sangradouro e nas condições de restituição do caudal ao rio.

Considerou-se o eixo Inhuçú/Soterós como o mais apropriado pois, além de ser a única alternativa que preserva o distrito de Soterós, com aproximadamente 542 habitantes (censo 2010), preserva integralmente as zonas aluvionares agricultáveis que ocorre entre Soterós e a sede do município de Croatá (cerca de 980 há de terras irrigáveis). Nesse eixo as condições topográficas permitem a implantação de uma estrutura de sangria, na ombreira direita, com uma escavação volumetricamente aproveitável no maciço da barragem.

O eixo levantado topograficamente apresenta uma deflexão voltada para montante, para evitar que o caudal de sangria atinja o maciço da barragem. Durante o desenvolvimento do projeto, com o avanço dos estudos hidrológicos definindo o volume ideal do reservatório e dimensionando o sangradouro e seu canal de restituição, o eixo implantado no levantamento topográfico poderá sofrer adequações locais para melhor ajuste do conjunto das obras.

#### 4.1.2. Eixo da barragem Lontras

Os eixos estudados como alternativas de implantação da barragem Lontras situam-se num trecho onde o rio apresenta uma declividade acentuada (média de 8%), com leito encaixado e ombreiras relativamente suaves. No eixo Lontras 2 o rio transcorre por um “Canyon” de 35 m de altura, no Lontras 1 por um acidente semelhante, porém com cerca de 15 m de altura e no Lontras numa grota menos abrupta.

O maciço da barragem proposto no Estudo de Viabilidade realizado pela Montgonyery Watson/Engesoft, constitui-se de uma seção em terra, homogênea, dotada de um sistema de drenagem interna e proteções de taludes com enrocamentos de rocha arenítica.

A princípio esta seção poderia ser aplicável a todas as alternativas, pois encontram-se dentro de uma região com feições geológicas homogêneas. No entanto, não se pode afiançar a viabilidade da concepção de maciço homogêneo, diante da escassez de solos coesivos na região. O mais provável é que seja concebido apenas um núcleo central com as raras ocorrências de solos areno argilosos e espaldares com material areno silto argiloso. Para os espaldares existe a possibilidade de ser estudado o uso de enrocamentos e transições de rocha arenítica, proveniente das escavações obrigatórias do canal do sangradouro.

No sítio do eixo Lontras foi sugerido, no Estudo anteriormente citado, um arranjo de obras tal que a estrutura de sangria se posiciona na ombreira direita, imediatamente anexa ao maciço da barragem. Tal estrutura consiste num canal escavado em rocha, com um muro vertedouro do tipo Creager, sem previsão de revestimento com concreto.

Numa primeira análise, sem qualquer informação da competência da rocha de fundação, o arranjo parecer ser uma opção possível tanto para este eixo como para os outros dois eixos alternativos. Na bacia do reservatório, para qualquer alternativa, não existem regiões baixas ao longo do divisor de águas que possam abrigar um sangradouro.

Investigações do substrato rochoso, com avaliação de sua resistência e condutibilidade hidráulica, além de prospecções de materiais construtivos, deverão ser realizadas para embasar um estudo consistente de opções de arranjos.

Como o rio Macambira apresenta um declividade acentuada, na região das alternativas consideradas viáveis para a barragem Lontras, os maciços crescem rapidamente em altura, para uma mesma cota do reservatório, quanto mais se deslocam para jusante. Desta forma o eixo Lontras, a mais a montante de todas as alternativas, apresenta a menor altura entre as opções, que associada a uma menor extensão do boqueirão proporciona um maciço com menor volume.

No quadro a seguir é apresentado o resumo dos resultados que se chegou para cada eixo alternativo, considerando o mesmo volume de acumulação.

**Quadro 4.1: Resumo dos resultados**

<b>Características Principais dos Boqueirões Barráveis</b>	<b>Lontras 2</b>	<b>Lontras 1</b>	<b>Lontras</b>
Coordenada UTM do Eixo (E)	282.309	282.348	283.052
Coordenada UTM do Eixo (N)	9.496.575	9.497.800	9.498.414
Rio barrado	Macambira	Macambira	Macambira
Localidade mais próxima	São José das Lontras	São José das Lontras	São José das Lontras
Cota Máxima (m)	533,00	537,00	540,00
Capacidade (hm <sup>3</sup> )	352	352	352
Extensão aproximada pelo coroamento (m)	1.900	1.800	1.400
Altura máxima aproximada (m)	59,00	52,00	46,00
Área da bacia hidráulica (ha)	2.042,02	1.992,48	2.011,15
Área da bacia hidrográfica (km <sup>2</sup> )	522,89	516,04	509,94
Volume afluente anual (hm <sup>3</sup> )	46,20	45,60	45,06
Descarga regularizada 90% (m <sup>3</sup> /s)	2,40	2,20	2,05
Volume Aproximado do Maciço de Terra (m <sup>3</sup> )	2.400.000,00	4.400.000,00	1.800.000,00
Número de construções inundadas na bacia hidráulica (ud)	271	270	265
Largura média do vale inundado (m)	2500	2000	1800

Construtivamente o eixo Lontras apresenta mais uma vantagem sobre as demais alternativas que é não apresentar o rio correndo entre margens verticalizadas (“canions”).

No entanto, para adoção deste local como posição final da barragem deve ser investigada a possível anomalia geológica, situada numa extensão da ombreira esquerda, aventada pelo Geólogo Guido Guidicini e apresentada no relatório RIO.



**Figura 4.2: Detalhe da ombreira esquerda onde suspeita-se de uma anomalia geológica**

Para compreender o processo geológico que ocorre nesta ombreira, além sua extensão e complexidade, foram previstas sondagens rotativas com cuidados especiais de ancoragem, velocidade de avanço, extensão de testemunhos e tipo de barrilete.

No presente momento, uma equipe adicional de sondagem está se deslocando para a referida região do eixo Lontras, para iniciar as citadas investigações.

## **4.2. ALTERNATIVAS DO SISTEMA DE TRANSPOSIÇÃO**

### ***4.2.1. Descrição Geral das Soluções Avaliadas***

Nesta fase dos trabalhos, após a análise pormenorizada da solução delineada nos estudos anteriores e das principais condicionantes, aprofundou-se mais um pouco no estudo de identificação de alternativas para os locais das obras e para o tipo de solução final a ser adotada

Considerou-se nesta fase a base cartográfica mais consistente elaborada por restituição de imagens de satélites, bem como os resultados de novas investigações geológicas e geotécnicas da região.

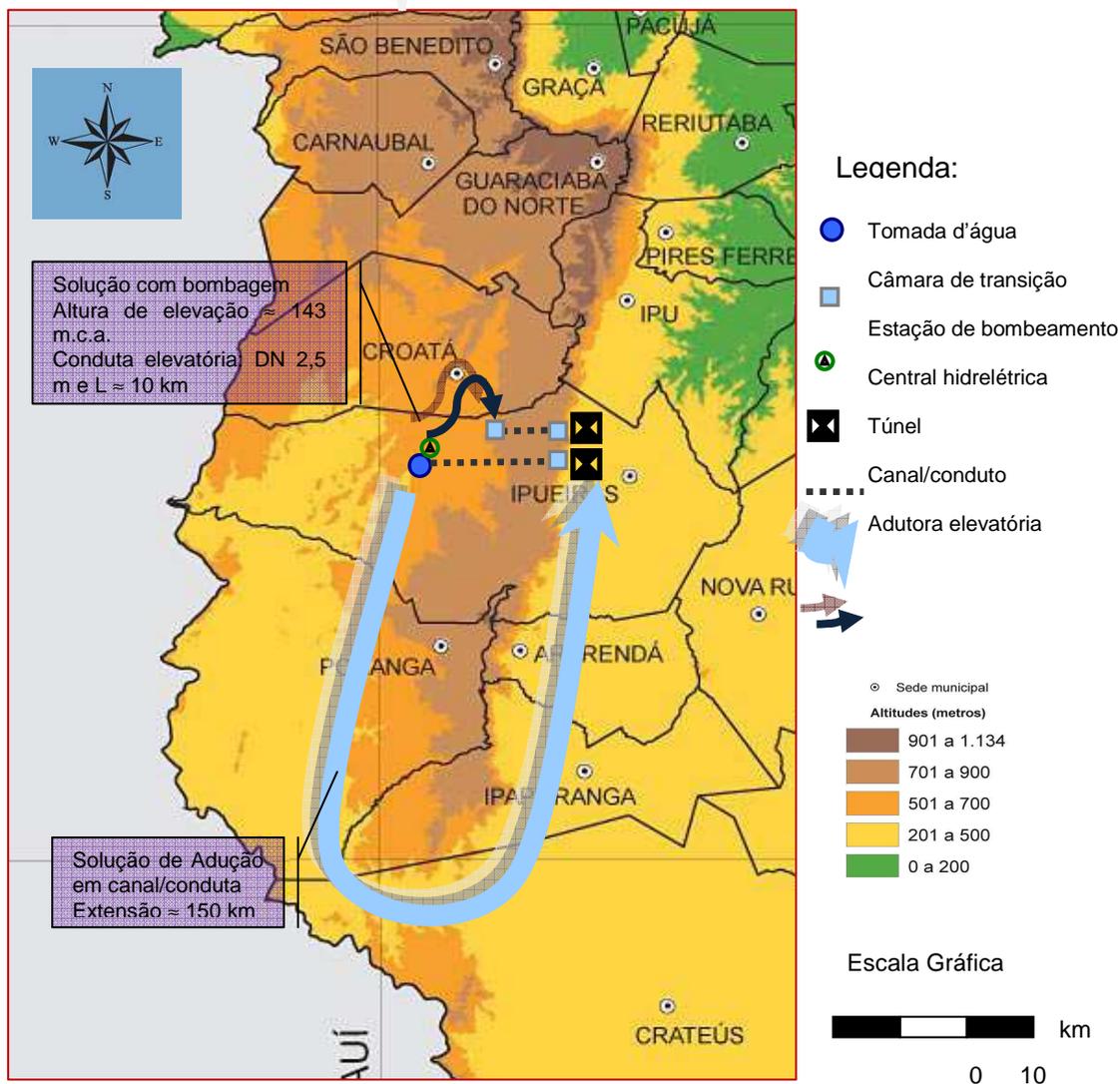
Efetou-se também mais visitas aos locais do aproveitamento, com o objetivo de confirmar a viabilidade das soluções propostas e definir as condições de implantação das obras.

Dada a complexidade da execução, dúvidas quanto à geotecnia e morosidade construtivas associadas ao túnel de adução, procuraram-se mais alternativas que permitissem diminuir a extensão desta estrutura linear, procurando locais alternativos para a localização da tomada d'água ou analisando a viabilidade de uma solução mista de bombeamento/adutora elevatória e túnel, além da possibilidade de utilização da água em locais mais próximos de modo a reduzir o custo da adução, beneficiar prioritariamente a bacia doadora (região da Ibiapaba), melhorando os indicadores das avaliações econômicas e financeiras para o projeto.

Em alternativa à solução do túnel foi analisada a hipótese de canal/conduto, solução mista de bombeamento/adutora elevatória e túnel, além de solução alternativa beneficiando a própria Ibiapaba por intermédio de bombeamento adutora e canal. Em todas elas seria considerada a utilização total racional de toda a vazão produzida pelos dois reservatórios previstos atuando em conjunto. As duas primeiras hipóteses encontram-se esquematizadas na **Figura 4.3**, enquanto a terceira é comentada em 4.2.2 e ilustrada na **Figura 4.4**.

Na solução mista de adução por intermédio de canal/conduto será necessário contornar a Serra do Ibiapaba. O traçado deste canal/conduto tem um desenvolvimento de cerca de 150 km, o que dificulta uma comparação mais apurada com o túnel já que tal alternativa só pode ser melhor avaliada com uma cartografia em melhor escala.

Na hipótese de existir bombeamento até cota adequada do circuito hidráulico, verifica-se que será necessária uma altura de elevação da ordem dos 143 m.c.a., de modo a ser possível transpor o patamar altimétrico dos 600 m. Transposto este patamar, as cotas dos terrenos diminuem ligeiramente para depois aumentarem progressivamente de até 850 m. A adutora elevatória permitiria atravessar os primeiros 10 km e teria um diâmetro de 2,5 m por forma a limitar a perda de carga (total de aproximadamente 8 m.c.a.) e conseqüentemente a altura de elevação. A transposição das cotas mais elevadas da Serra do Ibiapaba teria de ser sempre feita através de um túnel, que nesta solução, teria uma extensão da ordem dos 8 km.

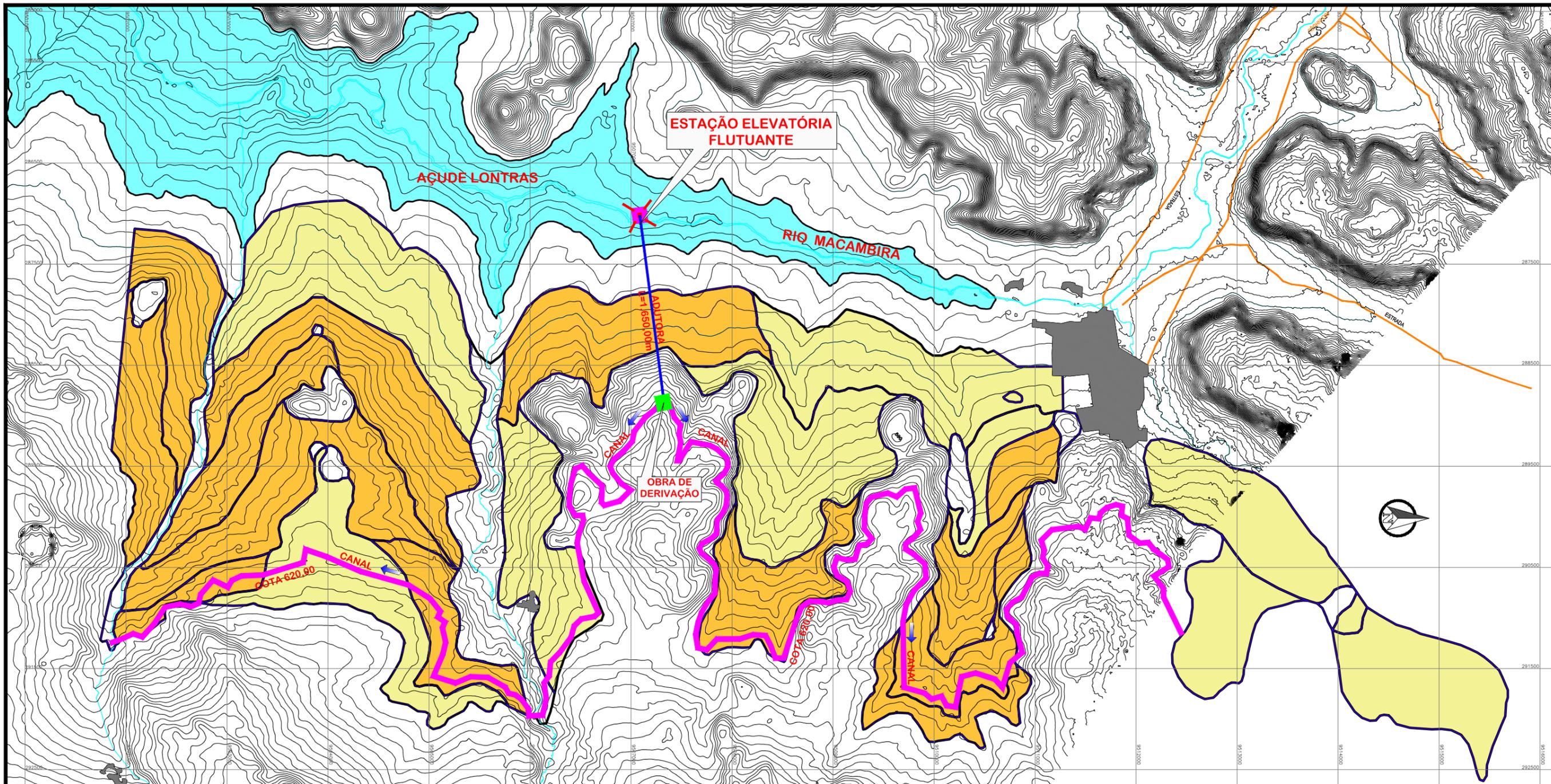


**Figura 4.3: Esquema das hipóteses alternativas (canal/conduto ou com bombeamento) ao túnel para o circuito hidráulico captação-túnel-penstock e hidrelétrica**

Por conseguinte, a solução de bombeamento adotado no circuito hidráulico não possibilita suprimir por completo o túnel que é sempre necessário para transpor as altitudes entre as cotas 630 e 850 m. Em termos de custos de investimento, verifica-se que a conduta elevatória assume um custo unitário equivalente ao do túnel. A este custo, é ainda necessário incluir o custo de construção da estação elevatória e os correspondentes custos de exploração. Esta solução é economicamente mais desfavorável que a solução base.

#### **4.2.2. Alternativa de Utilização da água Reservada, na Própria Bacia (Macambira/Inhuçu)**

Uma nova alternativa está sendo avaliada pelo Consórcio ENGESOFT/IBI considerando a utilização de toda a água produzida, em decorrência dos açudes Inhuçu e Lontras, na região da Ibiapaba sem transposição para a bacia do Acaraú. A quantidade de água regularizada de cerca de 4 m<sup>3</sup>/s é relativamente pequena para transpor se considerarmos o alto custo do sistema túnel/PCH, e acarreta valores elevados para a água transposta. A nova alternativa envolve a utilização da água com irrigação de áreas na própria bacia onde é captada (Rios Inhuçu/Macambira). Neste contexto foram levantadas pedologicamente áreas margeando a bacia hidráulica do açude Lontras que poderão ser beneficiadas com irrigação. Os estudos indicaram que cerca de 4.000 há de solos são aptos para irrigação a uma distância de no máximo 3 km da bacia hidráulica do futuro reservatório Lontras. Para a irrigação a água seria captada do lago do reservatório do Açude Lontras por uma captação flutuante em canal de aproximação, bombeada em adutora de aproximadamente 2 km com bombeamento da ordem de 100 m, e distribuída por toda a mancha irrigável por canal gravitário. Esta solução está sendo mais aprofundada ao nível de viabilidade e deverá ser comparada com a solução proposta inicialmente de transposição por túnel/adutora/PCA.



LEGENDA:

- LATOSSOLOS AMARELOS
- NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS

**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**

**ALTERNATIVA DE ADUÇÃO PARA UTILIZAÇÃO NA BACIA DO MACAMBIRA/INHUÇU (SEM TRANSPOSIÇÃO)**

CONSÓRCIO:



ESCALA: 1/40.000

DESENHISTA: AC

DATA: JUNHO/2011

DESENHO: 4.4

ARQUIVO: Fig\_4-4\_Alternativa\_Aducao.dwg

PRANCHA: 01/01

RESPONSÁVEIS TÉCNICOS:

#### 4.2.3. Descrição da Solução Indicada no Anteprojeto (Transposição por Túnel/Adutora/PCH)

Nos estudos anteriores do Relatório de Identificação das Obras – RIO Para, foram identificadas localizações alternativas para a tomada de água e para a PCH. Para cada local alternativo da tomada de água corresponde um alinhamento alternativo para o túnel (ver Desenho 001). Na ausência de limitações geológicas e geotécnicas, o alinhamento do túnel foi determinado pelo critério da menor extensão e adequadas condições de implantação e acesso aos embocamentos de montante e jusante.

A análise da topografia e morfologia disponível para a área da casa da força permitiu identificar uma localização alternativa para a central, que permitiria aumentar a queda em cerca de 20 m, traduzindo-se, em contrapartida, num aumento da extensão da tubulação do “penstock” em cerca de 300 m. Este segundo lugar para a casa de força, permitirá fazer a restituição praticamente junto a uma linha de água.

A concepção geral e a identificação de alternativas, naquela situação, são subordinadas às condições impostas pelo sistema de abastecimento público e rural (adutora de Ararendá) que tem origem na câmara de transição, pelas demandas a garantir a jusante do canal de restituição (embora com menor influência) e pelas regras de operação e exploração do sistema de Inhuçú-Lontras.

Na **Figura 4.2** apresenta-se o esquema altimétrico do sistema Inhuçú-Lontras e PCH, identificando-se as principais condicionantes da central hidrelétrica.

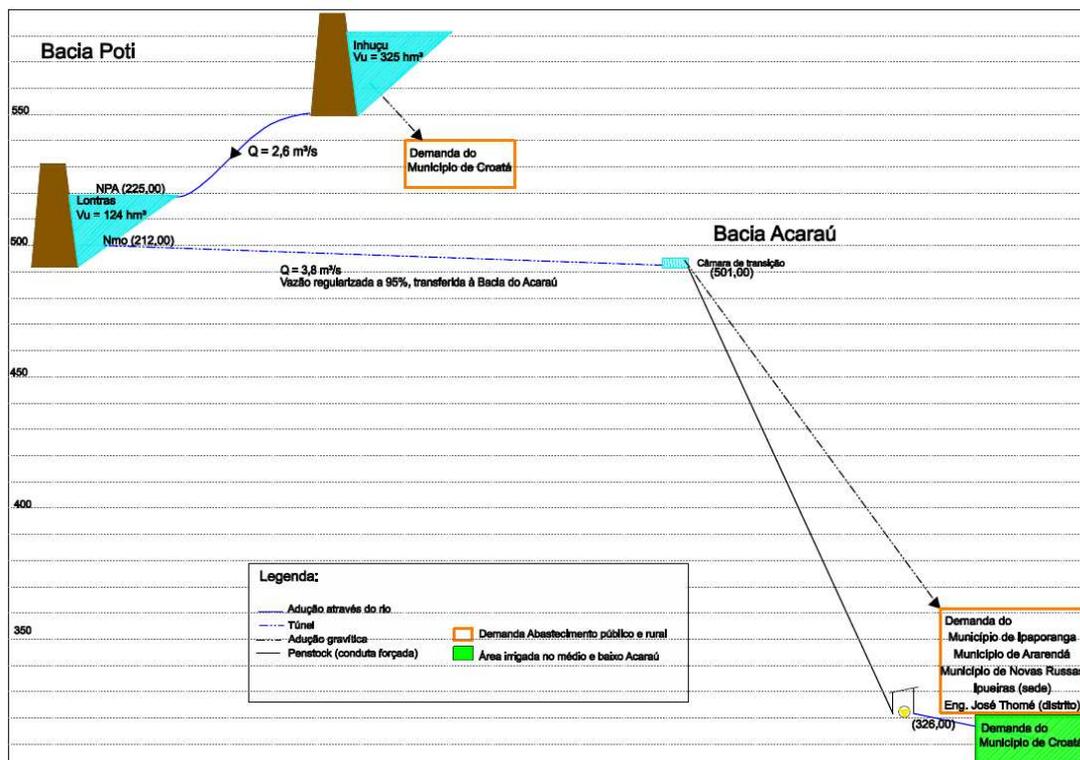


Figura 4.5: Esquema altimétrico do Sistema Inhuçu-Lontras e circuito hidráulico captação-túnel-penstock e hidrelétrica

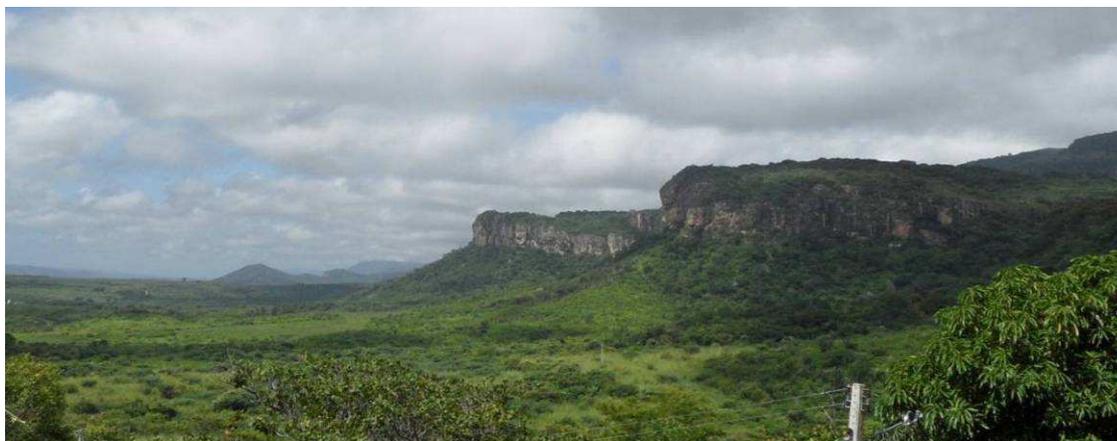


Foto 4.1: Serra do Ibiapaba

Os perfis longitudinais do circuito hidráulico obtidos da cartografia disponível (escala 1:100 000) são apresentados nos Desenhos 002, 003 e 004.

#### 4.2.4. Descrição geral do circuito hidráulico da transposição

O circuito hidráulico de transposição entre as bacias do Poti e do Acaraú, tal como acima definido, terá um desenvolvimento total de aproximadamente 19 km e será constituído pelos seguintes componentes principais:

- Tomada de água no reservatório de Lontras;
- Túnel de adução;
- Conduto forçado;
- Pequena Central Hidrelétrica (PCH).

O circuito hidráulico terá como função principal concretizar a transposição de vazões entre bacias, sendo também prevista a instalação de uma PCH para aproveitamento da queda natural disponível na transição entre a zona alta da Serra do Ibiapaba e a zona plana da base da Serra.

Nos estudos de Anteprojeto considerou-se uma vazão de dimensionamento de 4,0 m<sup>3</sup>/s, igual à vazão regularizada.

A vazão de dimensionamento a adotar para o circuito hidráulico dependerá da vazão regularizada garantida pelo sistema de açudes Inhuçú-Lontras e da parte dessa vazão que for considerada como excedente da bacia do Poti e que assim poderá ser transferida para a bacia do Acaraú. Deverá ainda ser considerada a possibilidade de derivação da vazão que em período de chuvas excede a capacidade de armazenamento desses açudes e que assim poderá ser transferida e armazenada em açudes da bacia do Acaraú (açude Araras), e eventualmente também turbinada, que de outra forma seria descarregada pelo vertedouro do açude Lontras.

Será também avaliada a possibilidade de funcionamento da PCH em períodos diários de maior valorização da energia, aproveitando a capacidade de armazenamento nos açudes a montante, o que poderá conduzir ao aumento da vazão de dimensionamento do circuito hidráulico.

##### 4.2.4.1. Tomada d'água

A tomada d'água será implantada no reservatório de Lontras, afastada do corpo do açude, do lado da margem esquerda, de forma a minimizar o comprimento do circuito hidráulico.

A sua localização dependerá do eixo selecionado para o açude das Lontras e do nível mínimo de operação, que será estabelecido em função das demandas a suprir nas bacias do Poti e do Acaraú.

A cota de soleira da entrada tomada de água será estabelecida em função dos níveis de exploração a fixar para o açude Lontras e das condições de funcionamento hidráulico da entrada da tomada. Nos estudos anteriores a cota de soleira da entrada tomada foi fixada à cota 510,0 m, ou seja, 5,0 m acima do nível mínimo de exploração do açude de 505,0 m, dado que se admite que parte da capacidade de armazenamento deverá ser mantida como reserva para consumos locais, ou seja em períodos de déficit hídrico será interrompida a transposição de vazões para a bacia do Acaraú.

Considerando a cota do nível máximo operacional prevista para o reservatório, de 525,0 m e a folga necessária até ao coroamento do açude, a estrutura da tomada de água terá uma altura de cerca de 20,0 m.

A montante da entrada da tomada de água existirá um canal escavado no leito do rio e na encosta, com rasto fixado a uma cota semelhante à da soleira de entrada, tendo por objetivo garantir um recobrimento mínimo da seção inicial do túnel e em simultâneo minimizar o comprimento do túnel. A torre de tomada ficará em princípio na transição entre as seções em canal e em túnel, com ponte de acesso até à margem, sendo a definição da transição objeto de otimização em função do custo de execução do corte para criação do canal e o custo do túnel.

No Desenho 001 estão representadas as localizações da tomada de água para quatro alternativas:

- T1 e T4 – Eixo do açude Lontras e localização da tomada estabelecidos no Anteprojeto, sendo que T1 corresponde ao eixo definido no Anteprojeto e T4 ao eixo alternativo definido no presente estudo.
- T2 – Eixo do açude Lontras estabelecido no Anteprojeto e localização da tomada num braço do reservatório, com escavação de um canal de acesso, diminuindo assim o comprimento do túnel.
- T3 – Possível localização para a tomada d'água, considerando o eixo barrável Lontras 3.

Para a tomada d'água poderão considerar-se vários níveis de captação da água, tendo em consideração que será utilizada para atendimento hídrico das populações (exige maior qualidade de água e captação mais à superfície) e para irrigação.

As fotografias seguintes mostram a zona prevista para implantação da tomada de água.



**Foto 4.2: Leito do rio Macambira a montante do local do açude Lontras**



**Foto 4.3: Vista da encosta da margem esquerda do reservatório de Lontras, onde é prevista a implantação da tomada de água**

#### 4.2.4.2. Túnel

Tendo em consideração as características morfológicas e topográficas da região, a transposição para a bacia do Acaraú deverá ser efetuada através da construção de um túnel com cerca de 18 km de desenvolvimento.

No Anteprojeto, foi referido que o túnel teria uma seção circular hidráulica de 2,7 m de diâmetro, condicionada essencialmente pela dimensão mínima considerada adequada para a execução da escavação. Atendendo ao valor da vazão de dimensionamento, relativamente baixo para a seção de vazão disponível, foi considerado o escoamento em superfície livre.

Nos estudos a realizar serão encaradas as alternativas de escoamento em superfície livre ou em pressão, cuja seleção dependerá dos seguintes fatores:

- Escoamento em superfície livre: A regulação da vazão será realizada por uma comporta a montante, na tomada de água, funcionando o túnel como um canal em superfície livre. A regulação do escoamento será mais complexa, atendendo à necessidade de garantir em cada instante que a vazão admitida à turbina é idêntica à vazão captada na tomada de água, podendo exigir um volume de água significativo na câmara de transição entre o túnel e o conduto forçado (câmara de carga). Tem como principal vantagem as baixas velocidades de escoamento e a facilidade em garantir a estanqueidade do túnel (fator que poderá ser importante, atendendo às formações de arenito atravessados), possibilitando a adoção de um revestimento mais ligeiro, em concreto projetado. Em contrapartida é perdida a energia disponível entre o nível de água no reservatório e o nível de água no escoamento no interior do túnel.
- Escoamento em pressão: A regulação da vazão captada e turbinada, embora seja operacionalmente mais simples e possibilite a adoção de um traçado em perfil a maiores profundidades, conduz a necessidade de execução de uma chaminé de equilíbrio numa seção de jusante do túnel, de forma a garantir quer a regulação da turbina quer o controlo das variações transitórias de pressão (choque hidráulico) no túnel e conduto forçado. O funcionamento em pressão exige maior garantia de estanqueidade, o que provavelmente conduziria à adoção de um revestimento em concreto armado e a um aumento significativo do custo de execução. Por outro lado será possível aproveitar a totalidade da queda disponível desde o nível do reservatório de Lontras, ou seja, mais cerca de 20 m do que na solução de escoamento em superfície livre.

- Admitindo o escoamento em pressão e também o revestimento em concreto armado, poderia ainda ser considerado um traçado em perfil do túnel com ligação direta à PCH, embora neste caso o túnel ficasse sujeito a importantes pressões.

Admitindo o coeficiente de rugosidade de Manning de  $0,025 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  (coeficiente de rugosidade para túnel sem revestimento escavado em rocha sã ou com revestimento em betão projetado), um declive de  $0,5 \text{ m/km}$ , verifica-se que, para o regime permanente e uniforme, o escoamento no interior do túnel, para a vazão de dimensionamento, será feito em superfície livre.

No **Quadro 4.1** apresenta-se a verificação hidráulica do túnel para o regime de escoamento permanente e uniforme em superfície livre.

Realizando-se o escoamento em superfície livre, a perda de carga corresponde à inclinação do túnel, ou seja,  $0,5 \text{ m/km}$ .

**Quadro 4.2: Verificação hidráulica do túnel para escoamento em superfície livre (regime de escoamento e uniforme)**

<b>h/D</b>	<b>h (m)</b>	<b><math>\theta</math> (rad)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>R (m)</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>)</b>
0.25	0.675	2.09	1.12	0.40	0.55
0.35	0.945	2.53	1.79	0.52	1.05
0.50	1.35	3.14	2.86	0.68	2.00
0.75	2.025	4.19	4.61	0.81	3.65
0.80	2.16	4.43	4.91	0.82	3.91
<b>0.82</b>	<b>2.214</b>	<b>4.53</b>	<b>5.02</b>	<b>0.82</b>	<b>4.00</b>
0.94	2.538	5.29	5.59	0.78	4.30
1.00	2.7	6.28	5.73	0.68	4.00

h - altura de escoamento  
D - diâmetro

$q = 2 \text{ arc cos } (1-2h/D)$   
R - raio hidráulico

Em regime de exploração normal, o escoamento à entrada do túnel será feito em pressão, dado que o nível normal de água no reservatório será habitualmente superior ao topo da seção do túnel, pelo que será prevista a instalação de comportas na tomada de água para regulação da vazão. A câmara de transição entre o túnel e o conduto forçado será também equipada com comportas para seccionamento do escoamento.

Admitindo o escoamento em pressão ao longo da totalidade do desenvolvimento do túnel, a perda de carga pode ser estimada pela fórmula de Darcy-Weisbach, sendo o valor do coeficiente de atrito dado pela expressão explícita proposta por Barr (1972) para a fórmula de Colebrook-White.

### Quadro 4.3: Cálculo da perda de carga no túnel para escoamento em pressão

#### Cálculo da perda de carga no túnel com escoamento em pressão

Desenvolvimento do túnel	17956 m
Vazão máxima de dimensionamento	4 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Seção circular	
Diâmetro	2.7 m
Velocidade de escoamento	0.7 m s <sup>-1</sup>

#### Equação de Darcy Weisbach

Fator de rugosidade, Eq. Colebrook White - Explicitação de Barr (1972)	
Viscosidade cinemática do líquido, $\gamma$	0.000001 m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
Rugosidade equivalente da parede do tubo	0.07 m
Número de Reynolds	1.89E+06
Fator de atrito, f	0.0539
Perda de carga unitária	0.0005 m/m
Perda de carga contínua no túnel	8.92 m
Perda de carga singular	0.89 m
<b>Perda de carga total</b>	<b>9.81 m</b>

A extensão do túnel dependerá das localizações do eixo barrável do açude, da tomada de água e da central hidrelétrica. Para as alternativas indicadas no Desenho 02 o comprimento do túnel é de 17 960 m na Alternativa 1 e de 16+990 na Alternativa 2.

A Alternativa 2 possibilita reduzir a extensão do túnel em 967 m mas será provavelmente necessário prever a construção de um canal de aproximação. A necessidade e extensão deste canal só poderá ser devidamente analisada com topografia de maior detalhe.



Foto 4.4: Vista geral do maciço a atravessar pelo túnel – zona de montante



Foto 4.5: Vista geral do maciço a atravessar pelo túnel – zona intermédia

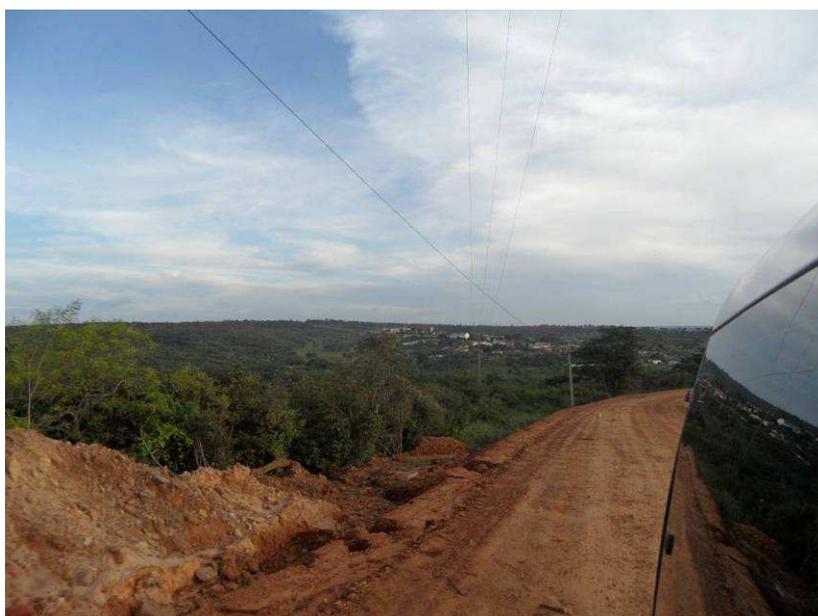


Foto 4.6: Vista geral do maciço a atravessar pelo túnel – zona intermédia



**Foto 4.7: Vista geral do maciço a atravessar pelo túnel – zona de jusante**

#### 4.2.4.3. *Câmara de transição*

A câmara de transição estabelecerá a ligação entre o túnel e a tubulação do conduto forçado.

Considerando o funcionamento do túnel em superfície livre, a câmara de transição será constituída por uma câmara de carga com o volume de armazenamento necessário para a regulação das vazões admitidas à(s) turbina(s). Tendo em consideração a extensão do circuito de adução, e numa estimativa do lado da segurança, o seu dimensionamento será efetuado de modo a prever um volume de reserva de 2 400 m<sup>3</sup>, correspondente a 10 minutos de funcionamento. A instalação de equipamento para regulação das vazões permitirá otimizar o volume de reserva da câmara de transição.

Para a alternativa de funcionamento do túnel em pressão, a câmara de transição será equipada com uma válvula de segurança, e será necessária a execução de uma chaminé de equilíbrio a montante da câmara.

#### 4.2.4.4. *Conduto Forçado (“Penstock”)*

O conduto forçado terá origem na câmara de transição e terminará na PCH, atravessando terrenos com elevada pendente. A tubulação será, em princípio, constituída por tubagem em aço-carbono, instalada aérea em apoios em concreto. A pressão estática máxima, junto à PCH, será da ordem de 20 bar.

Na solução proposta no Anteprojeto, o conduto forçado é constituído por dois tubos de aço-carbono DN 1200 mm. Tendo em consideração a vazão máxima de alimentação prevista de 4 m<sup>3</sup>/s e a fiabilidade mecânica e estrutural dos tubos de aço-carbono, preconiza-se que o seja constituído por uma única tubagem de aço-carbono DN 1500 mm.

Na Alternativa 1, o comprimento da tubulação é de 1 630 m e o desnível geométrico é de 175 m.

No **Quadro 4.3** apresenta-se o cálculo da perda de carga na tubulação para essa alternativa, em que se considerou a utilização da equação de Darcy-Weisback. O coeficiente de atrito foi obtido pela explicitação da fórmula de Colebrook-White proposta por Barr (1972).

#### **Quadro 4.4: Cálculo da perda de carga na tubulação do Conduto Forçado (“Penstock”)**

##### **Cálculo da perda de carga na tubulação da Penstock**

Desenvolvimento da conduta forçada	1630 m
Caudal de dimensionamento	4 m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup>
Diâmetro	1.5 m
Velocidade de escoamento	2.3 m s <sup>-1</sup>

##### **Equação de Darcy Weisbach**

Fator de rugosidade, Eq. Colebrook White - Explicitação de Barr (1972)	
Viscosidade cinemática do líquido, $\gamma$	0.000001 m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
Rugosidade equivalente da parede do tubo	0.00009 m
Número de Reynolds	3.40E+06
Fator de atrito, f	0.0117
Perda de carga unitária	0.0020 m/m
Perda de carga contínua	3.32 m
Perda de carga singular	0.33 m
<b>Perda de carga total</b>	<b>3.65 m</b>

A perda de carga total, para a Alternativa 1, é estimada preliminarmente em 3,65 m, incluindo a perda de carga singular, que ocorrerá ao nível da câmara de transição e dos equipamentos de controle.

Na Alternativa 2, a tubulação do conduto forçado tem um desenvolvimento maior, cerca de 1 942 m, mas o desnível geométrico é um pouco superior, de 195 m.



Foto 4.8: Vista da zona do conduto forçado – Alternativa A1



Foto 4.9: Vista da zona do conduto forçado – Alternativa A1  
(vista de montante para jusante)



Foto 4.10: Vista da zona do conduto forçado – Alternativa A1 (vista de jusante para montante)

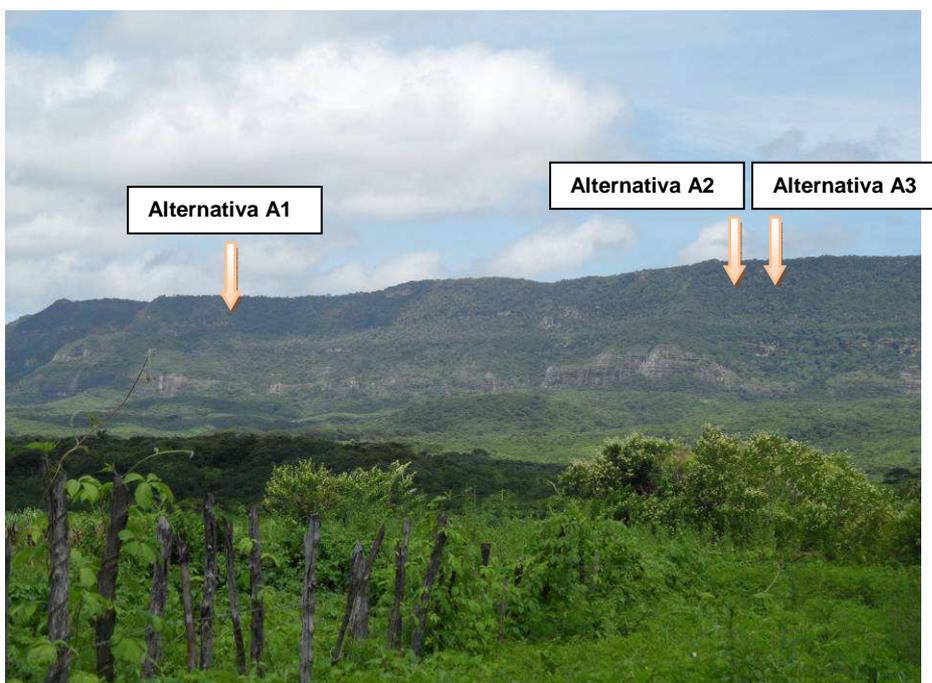
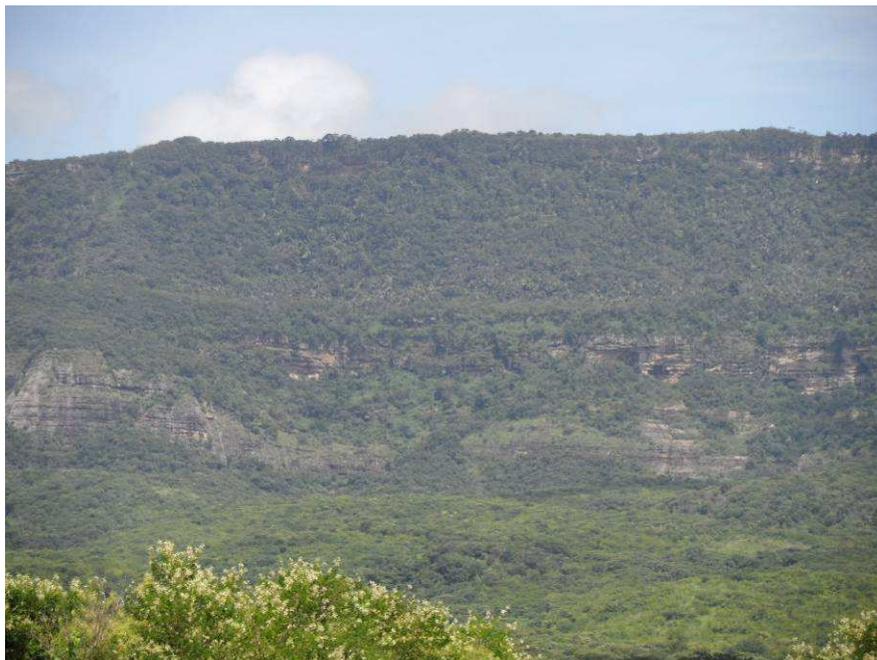


Foto 4.11: Vista da zona do conduto forçado – Alternativas A1, A2 e A3



**Foto 4.12: Vista da zona de implantação do “penstock” – Alternativas A2 e A3**

#### 4.2.4.5. Central hidrelétrica (PCH)

A PCH ficará implantada aproximadamente à cota 320 m, com restituição para um afluente do rio Jatobá ou para o riacho de São Francisco (Alternativas A2, A3 e A4), também afluente do rio Jatobá. Será constituída por um edifício onde ficará instalado o(s) grupo(s) gerador(es), e um canal de restituição das vazões turbinadas.

A central deverá dispor de um circuito de by-pass ao equipamento gerador, equipado com dispositivos de dissipação de energia (placas orifício, válvulas redutoras de pressão, válvulas dispersoras, bacias de dissipação ou outros), de forma a garantir a derivação das vazões de transposição em caso de inoperacionalidade dos grupos.

Será ainda prevista a possibilidade de futura alimentação de um sistema de adução de água para ligação a uma Estação de Tratamento de Água a localizar em Ipueiras, que abastecerá várias localidades dessa região, diretamente a partir do circuito da transposição. Para o efeito será prevista uma derivação em carga no conduto forçado (a obturar inicialmente por uma flange cega), imediatamente a montante dos grupos geradores. A captação de água para abastecimento poderá também ser efetuada a partir da câmara de carga, contudo será necessário um trecho adicional de conduta de adução com traçado paralelo ao do conduto forçado.

A seleção do tipo de turbina é função da vazão de equipamento adotada e da queda útil disponível, prevendo-se a adoção de equipamentos normalizados.

Para o presente aproveitamento, com uma queda útil máxima da ordem de 170 m e vazão total de 4,0 m<sup>3</sup>/s, a(s) turbina(s) serão certamente do tipo Francis, em princípio de eixo horizontal.

O número de unidades geradoras deve ser fixado ponderando vários aspectos: reserva de geração; flexibilidade operativa; proporção entre a capacidade unitária e as dimensões do sistema elétrico; custo de construção; limites físicos do arranjo, capacidade de engolimento mínimo, entre outros.

Tendo em consideração a potência da PCH, e o fato de existirem alternativas de fornecimento de energia elétrica às povoações, admite-se que a central deverá ser equipada com uma ou duas unidades, sem necessidade de instalação de grupos de reserva (o Anteprojeto previa a instalação de um grupo de reserva). A potência instalada será assim igual à potência efetiva. Com a instalação de duas unidades, cada uma dimensionada para metade da vazão máxima, garante-se flexibilidade de geração em função das variações de vazão disponível para turbinamento.

A avaliação do potencial hidroelétrico do local é feita preliminarmente a partir da potência a instalar e da vazão da transposição, que definem a produção anual de energia.

A potência efetiva gerada pela central hidrelétrica é calculada pela equação:

$$P_e = 9,81 \times \eta \times Q \times H_{liq}$$

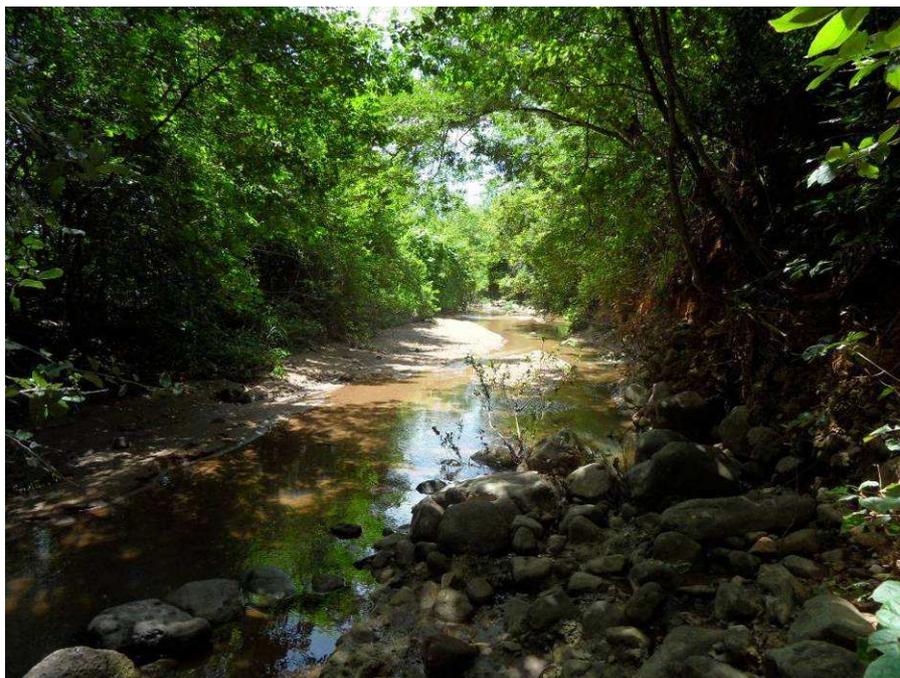
onde:

- $P_e$  = potência líquida em kW;
- $\eta$  = rendimento do conjunto turbina-gerador;
- $Q$  = vazão turbinada (m<sup>3</sup>/s);
- $H_{liq}$  = queda útil (m).

Considerando os rendimentos das turbinas Francis ( $\eta=0,90$ ) e dos geradores ( $\eta=0,95$ ), o rendimento global do conjunto é estimado em 0,855. A queda útil é calculada a partir da queda geométrica, reduzindo a perda de energia, resultando um valor de aproximadamente 170 m.

Admitindo que a vazão de equipamento é igual à vazão prevista no Anteprojeto, ou seja 4,0 m<sup>3</sup>/s, a potência a instalar será da ordem de 5,7 MW. Refira-se, contudo, que os estudos preliminares realizados revelam que as disponibilidades hídricas serão inferiores ao estimado no Anteprojeto, pelo que a potência a instalar poderá provavelmente ser também inferior. A produção de energia dependerá da vazão que efetivamente for possível transferir.

A determinação do caudal de equipamento a adotar será objeto de otimização econômica nos estudos da fase seguinte (estudos hidro-energéticos), através da simulação da exploração da central, que considerará os custos de construção e exploração e as receitas de venda de energia ao longo do período de vida útil da PCH. Será utilizada a série de vazões derivadas pela transposição e serão consideradas várias alternativas de vazão de equipamento e de cenários de exploração (em contínuo 24 h por dia ou num menor número de horas por dia).



**Foto 4.13: Leito do Riacho de São Francisco no local da restituição – Alternativa A2**

#### 4.2.4.6. *Linha de transmissão*

De acordo com as indicações do Anteprojeto, a linha de transmissão para interligação com o sistema elétrico regional, será feita por uma linha à tensão de 60 kV, com ligação à subestação de Ipueiras, e terá uma extensão de aproximadamente 30 km.

### **4.2.5. *Metodos Construtivos e Suporte Durante a Construção***

#### 4.2.5.1. *Método convencional*

O método convencional, conhecido como NATM (New Austrian Tunnelling Method) ou SEM (Sequential Excavation Method) consiste em realizar avanços discretos mediante explosivos, em rochas duras, e por escavação mecânica com fresa ou martelo hidráulico de grande capacidade, em rochas brandas, posterior extração do material removido com equipamento de carga e transporte adequado, saneamento do trecho escavado e da frente, e instalação do suporte

primário necessário e suficiente para estabilizar o maciço e permitir a realização de um novo avanço em condições de segurança.

Pela configuração topográfica do terreno e as características do traçado, não parece possível a escavação de galerias de acesso intermédias para permitir a multiplicação de frentes de ataque e diminuir os trechos de escavação unidirecional que, quando são muito compridos, acarretam dificuldades acrescidas, em particular no sistema de ventilação que deve ser assistido por estações de bombeamento intermédias ou chaminés dotadas com equipamento de ventilação adicional, e no sistema de extração do material escavado, que nestes casos deveria ser realizado por locomotivas elétricas e carruagens com configuração adequada.

A drenagem das águas subterrâneas constitui um problema importante nos túneis compridos, em particular nas galerias que progridem em descida, obrigando ao bombeamento de caudais que podem chegar a ser significativos.

O suporte primário, que garante a estabilidade do túnel durante a construção, poderá consistir na colocação de pregos na abóbada e hasteais segundo a zona geotécnica a atravessar, e concreto projetado para providenciar coesão superficial e proteção da rocha exposta aos agentes atmosféricos em forma imediata, para além de constituir uma estrutura de casca quando assim dimensionada.

Na abertura de grande parte do túnel, poderá ser necessário recorrer à utilização de explosivos, os quais poderão afetar as condições geotécnicas do maciço rochoso devido às vibrações produzidas pela detonação e pelo efeito dos gases a alta pressão, gerados durante a explosão, que circulam pelas descontinuidades, diminuindo instantaneamente as tensões efetivas na massa rochosa.

Tendo em consideração essas conseqüências, os planos de fogo devem ser definidos de forma a minimizar os efeitos negativos da explosão sobre as características resistentes do maciço rochoso, recorrendo-se a técnicas de desmonte com contornos suaves ou *smoth-blasting*, com furos e tiros de recorte no contorno da seção e utilização de seqüência de tempos adequados a cada situação.

#### 4.2.5.2. Método mecanizado - TBM

Para a escavação de um túnel com o comprimento e a seção da galeria de adução do Ibiapaba, a utilização de TBM apresenta múltiplas vantagens relativamente ao método convencional: maior rendimento, melhor acabamento da superfície e conseqüente redução do suporte bem como a eliminação de gases produto da utilização de explosivos. Apresenta também alguns

inconvenientes: maior dificuldade de adaptação a litologias variáveis, maior risco de encravamento da máquina, dificuldades para tratar situações imprevistas (afluência inusual e inesperada de água subterrânea, presença de rochas brandas, etc.), razões pelas quais o conhecimento geológico de maciço deverá ser muito mais preciso de modo a proceder à escolha da máquina mais adequada.

A máquina TBM pode ser de vários tipos dependendo do terreno a atravessar, condições hidrogeológicas, pressão litostática, entre os principais fatores. Em geral, e para este túnel em particular, as TBM podem ser de dois tipos: i) TBM para rocha, que é um sistema relativamente simples que aplica pressão lateral sobre o maciço rochoso através de *grippers*, contando com a reação adequada do maciço para avançar. ii) As TBM com escudo ou *shield* que são máquinas que se aplicam em terrenos brandos, mas perfuram bem terrenos rochosos. As TBM-*shield* aplicam aduelas como suporte primário e são estes anéis que fornecem a reação suficiente para o avanço da máquina.

Em termos de suporte, aplicam-se os comentários feitos para o método convencional. A vantagem da escavação mecanizada neste aspecto é que melhora sensivelmente o acabamento da superfície da galeria permitindo uma redução do suporte a colocar. Como desvantagem é de referir o fato de que a proteção de concreto na proximidade da frente de avanço pode afetar a máquina e as suas componentes, transformando-se numa tarefa complexa que deve ser diferida todo quanto possível.

#### 4.2.5.3. Combinação de métodos de escavação

Para acelerar o processo de escavação poderá ser necessário combinar os métodos referidos de modo que uma frente avance com método totalmente mecanizado e a outra avance com método convencional.

De referir que existe sempre um tempo de espera até que o TBM comece a operar na obra devido à fase de encomenda, transporte e montagem da máquina. A experiência aconselha considerar essa fase um período de tempo não é inferior a 6 meses. Pelo contrário, a escavação com método convencional poderá ser iniciada de imediato, uma vez instalado o estaleiro e estabelecidos o local de bota-fora, vantagem que torna este método mais competitivo nesse aspecto.

##### 4.2.5.3.1 Revestimento definitivo

Tratando-se de um túnel hidráulico que poderá funcionar quer em superfície livre quer pressurizado, com velocidades de escoamento reduzidas, o revestimento definitivo poderá

consistir na colocação de uma camada de concreto projetado em todo o perímetro da escavação. Em geral, o concreto poderá ser reforçado com fibras (metálicas, polipropileno) para aumentar a ductilidade e reduzir a fissuração, incrementando a durabilidade do revestimento.

Nos trechos com rocha mais branda sujeita a grande pressão litostática, p.e. no emboque Leste, ou de rocha alterada com cobertura reduzida, p.e. no emboque Oeste, e nas eventuais zonas de falha, poderá ser necessário colocar armadura de reforço do concreto projetado, dimensionada com os métodos próprios do concreto armado.

#### 4.2.5.3.2 Monitoramento do túnel Durante a construção

As metodologias seguidas na construção de túneis, baseadas na adoção de suportes primários, que por um lado assegurem que o maciço seja auto-portante, mas que, por outro lado, permitam uma certa deformação da rocha, por serem suficientemente flexíveis, têm-se revelado menos onerosas que as soluções tradicionais de suporte rígido, instalado à medida que se abre o túnel.

No sentido de avaliar, com razoável precisão, o modo de deformação do maciço e, conseqüentemente, confirmar a validade do suporte primário preconizado, tornar-se-á fundamental estabelecer, em fase de obra, um programa de observação dos deslocamentos que, na sua essência, deverá ser constituído por medições de convergência, no interior do túnel e medições de deslocamentos com extensômetros e inclinômetros, medições de assentamentos com marcas topográficas, medições de níveis piezométricos, desde a superfície nas zonas com recobrimento reduzido.

#### 4.2.5.3.3 Investigações geológico-geotécnicas

Encontra-se em implementação um programa de investigações de campo e ensaios de laboratório com o objetivo de estabelecer um modelo geológico-geotécnico suficientemente definido da zona a atravessar pelo túnel de modo a reduzir, tanto quanto possível, o risco geotécnico próprio deste tipo de obras.

As sondagens deverão ser feitas nos emboques e nas zonas de menor recobrimento. Serão realizadas sondagens mistas para zonas com recobrimentos importantes. A técnica de sondagem mista consiste na furação com métodos destrutivos da primeira parte da sondagem e posteriormente executar com furação rotativa com recuperação de testemunhos nos últimos 40 ou 50 metros, na envolvente do túnel.

Os testemunhos deverão ser adequadamente descritos e serão retiradas algumas amostras para ensaios de laboratório. Nos furos serão realizados ensaios de absorção de água sistemáticos para

avaliar a permeabilidade do maciço e em alguns casos a definir poderão ser instalados piezômetros.

Os métodos indiretos de prospecção, como a sísmica de refração, não se revelam de grande utilidade neste tipo de maciços devido à existência de estratos mais compactos sobrepostos a estratos menos competentes, o que obstaculiza a penetração das ondas sísmicas e favorece caminhos de refração menos profundos. A sísmica entre furos poderia ser um recurso a utilizar em casos específicos dado que para que seja possível obter informação útil da onda direta os furos não deveriam estar muito afastados como neste caso, pelo menos à partida. A sísmica vertical realizada em cada furo pode dar informação relativa à compacidade das camadas em profundidade. Esta informação complementada com as análises dos testemunhos e medições piezométricas poderão compor um perfil vertical por sondagem de muita utilidade, com possibilidades de ser correlacionável com a informação das outras sondagens.

#### 4.2.5.4. *Considerações finais*

Embora os estudos ainda estejam numa fase inicial julgamos oportuno referir que, conforme prática corrente em intervenções com a complexidade geológica e geotécnica da presente, todos os elementos de base e todos os pressupostos considerados no projeto deverão ser confirmados em fase de obra e qualquer retificação dos mesmos determinará a necessidade de averiguar as suas conseqüências ao nível da segurança das soluções propostas e, se justificável, proceder à sua revisão. Neste âmbito, destaca-se a importância do Plano de Instrumentação e Observação proposto como ferramenta de gestão do risco geotécnico, permitindo a análise/previsão proativa do comportamento da obra e, conseqüentemente, de validação dos pressupostos de cálculo considerados.

A confirmação dos pressupostos de cálculo assenta na confrontação da informação obtida durante o processo de escavação/furação no que respeita aos terrenos interceptados, com os resultados obtidos nas campanhas de prospecção efetuada e ainda nos resultados obtidos nos ensaios prévios de arranque e ensaios de recepção das pregagens.

Em função do procedimento mencionado no parágrafo anterior, os níveis de escavação definidos no projeto poderão ser alvo de revisão face ao comportamento do terreno na fase da escavação.

Dado tratar-se de uma obra de carácter definitivo deverão ser criadas condições de acessibilidade para garantir a manutenção da mesma, em particular limpeza dos dispositivos de drenagem, incluindo os drenos sub-horizontais.

#### 4.2.6. Estimativa das Quantidades e Custos das Obras

##### 4.2.6.1. Considerações prévias

A estimativa dos custos das obras efetuada no presente documento ainda é preliminar e recorre a curvas paramétricas, obtidas com base em obras similares.

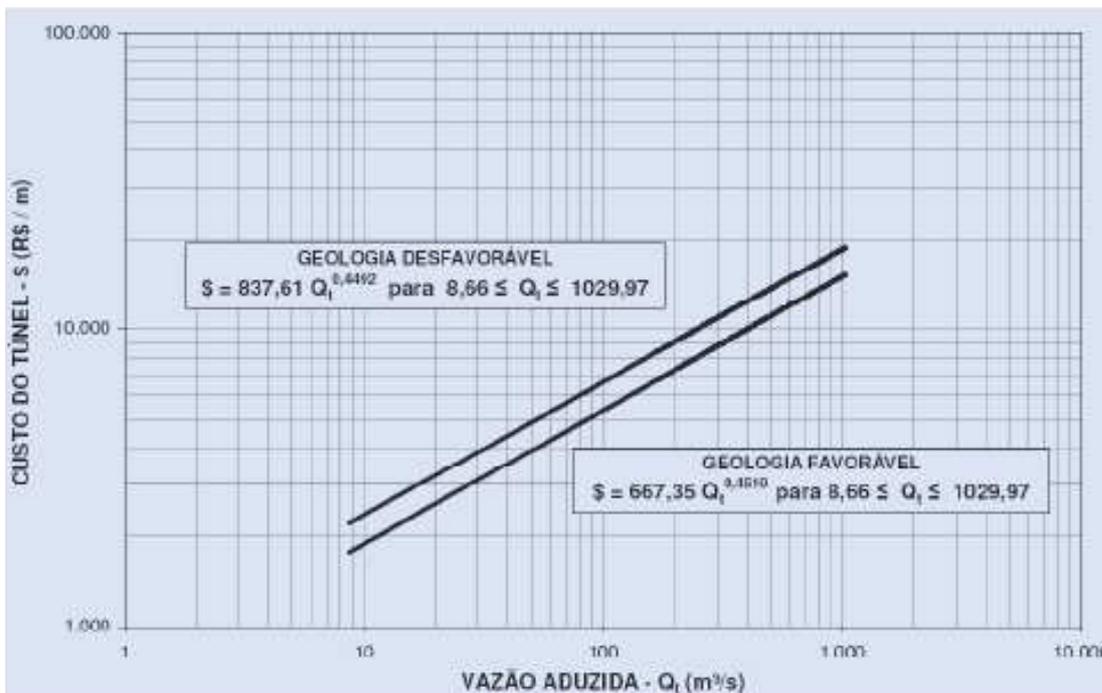
Nesta estimativa se tiveram em conta as curvas estabelecidas pelo Consórcio assim como as curvas estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia (Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas, Edição 2007).

##### 4.2.6.2. Tomada de água e adutora

Esta conta corresponde à soma das contas das seguintes estruturas:

- Tomada d'água;
- Túnel de adução;
- Câmara de transição.

Na **Figura 4.6** curva apresentada pelo Ministério de Minas e Energia para o cálculo do custo do túnel em função da vazão e das condições geológicas e geotécnicas, para vazões entre 8,66 e 1029,97 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>.



**Figura 4.6: Custo dos túneis de adução sem revestimento (Fonte: PCE, 2007).**

Para o diâmetro do túnel de 2,7 m e tendo em consideração o volume de escavação, o método de escavação e o revestimento, obtiveram-se os seguintes custos médios por metro linear.

<b>Método de escavação</b>	<b>Custo por metro linear (R\$)</b>
Método convencional, revestido com betão projetado	2 460
TBM Rocha, revestido com betão projetado	3 105
TBM SHIELD revestido com aduelas	3 882

Na fase de Relatório de Identificação de Obras – RIO, foi admitido que o túnel teria um custo por metro linear de 4 000 (R\$), incluindo o custo da tomada de água e da câmara de transição nos emboquilhamentos de montante e de jusante, respectivamente. Com a evolução dos estudos verifica-se a necessidade de revestimento estrutural em boa grande parte de seu desenvolvimento.

Se acordo com o Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, "Concreto Projetado como Revestimento de Tuneis", o custo do m<sup>3</sup> de revestimento encontra-se entre US \$550 e 750.

Considerando-se uma espessura de 0,25 de concreto projetado o revestimento do tunel, com 18 km, daria entre 37.125.000,00 e 57.600.000,00, bem maior do que o estimado anteriormente com base em informações muito preliminares.

#### 4.2.6.3. *Conduto forçado*

Os custos do conduto forçado foram estimados a partir do custo unitário por metros de comprimento de conduta e tendo por base o peso da conduta e o preço de 11,75 R\$ por kg. Assim, o custo unitário é função do diâmetro da conduta e da sua espessura. A espessura é por sua vez obtida em função do diâmetro da conduta e da pressão a que está sujeita.

Admitindo a carga dinâmica de 22,918 kgf cm<sup>-2</sup> (correspondente a um acréscimo de cerca de 30% na carga estática disponível), a espessura da chapa de aço-carbono resultante é de 18 mm.

O custo estimado por metro linear da tubulação do penstock é de 3 010 R\$. A este custo foi considerado um acréscimo de 20% para as obras construção civil associadas.

#### 4.2.6.4. *Central Hidrelétrica*

Como as equações de custo existentes para centrais hidrelétricas davam custos muito diferentes dos exemplos concretos existentes, foi calculada uma nova equação a partir dos custos recentes

de PCHs construídas ou em projeto. A equação foi calculada em função da potência instalada  $P$  (MW) e da queda bruta  $H$  (m):

$$C_{\text{central}} (\text{R}\$) = 2047155 + 795273 \times P - 729 \times H$$

Sendo a potência instalada igual à potência efetiva,  $P = P_e \approx 6$  MW e a queda bruta  $H = 175$ , o custo estimado da central é de 6 700 000 R\$.

O custo total da central foi dividido em três parcelas do modo seguinte:

- Grupo + válvula + equipamento de regulação: 55%
- Restante equipamento eletromecânico e elétrico: 25 %; e
- Construção civil: 20 %.

#### 4.2.6.5. *Ligação elétrica*

A estimativa do custo da ligação elétrica foi efetuada considerando o custo médio por km das linhas de distribuição em 13.8 KV Rural – trifásica, considerando o cabo de bitola 1/0 AWG.CAA, e a extensão da linha e os custos de construção civil (torres de concreto).

Considerando os elementos disponíveis nesta fase de inicial dos estudos, os custos com a linha de transmissão foram estimados em 2 200 000 R\$. Nas fases seguintes do Estudo de Viabilidade, os pressupostos admitidos serão devidamente aferidos.

#### 4.2.6.6. *Estaleiro e ensecadeiras*

Foi admitido que o custo do estaleiro e ensecadeiras provisórias representam, no seu conjunto, 5% do custo do túnel da PCH (penstock + central).

#### 4.2.6.7. *Gestão e Supervisão de Obra*

Os custos para gestão e Supervisão de Obra foram considerados em função do custo total da PCH, cerca de 5%.

#### 4.2.6.8. *Imprevistos*

Considerando a fase atual dos estudos, foi admitido que os imprevistos representam cerca de 15% do custo global do circuito hidráulico e da PCH.

#### 4.2.6.9. *Resumo da estimativa orçamental*

No **Quadro 4.5** apresenta-se a estimativa orçamental do circuito hidráulico da transposição, incluindo tomada de água, túnel de adução, conduta forçada e PCH.

#### Quadro 4.5 – Custo do circuito hidráulico de transposição (tomada d'água, túnel, conduto forçado e PCH)

Item		Custo em R\$
<b>1.</b>	<b>Túnel de Adução para a PCH</b>	
1.1	Túnel de 2,7 m de diâmetro, L ≈ 18 km, incluindo tomada d'água no reservatório das Lontras e câmara de transição.	120 000 000
	<b>Subtotal do túnel de adução</b>	<b>120 000 000</b>
<b>2</b>	<b>Conduto forçado</b>	
2.1	Tubulação em aço-carbono DN 1500 mm, L ≈ 1,63 km, incluindo montagem, acessórios, equipamentos, proteção, apoios e maciços de concreto e demais obras de construção civil	5 887 560
	<b>Subtotal do conduto forçado (Penstock)</b>	<b>5 887 560</b>
<b>3</b>	<b>Central Hidrelétrica (PCH)</b>	
3.1	Grupo + válvula + equipamento de regulação	3 685 000
3.2	Restante equipamento eletromecânico e elétrico	1 675 000
3.3	Construção civil	1 340 000
	<b>Subtotal da Pequena Central Hidrelétrica</b>	<b>6 700 000</b>
<b>4.</b>	<b>Linha de transmissão para interligação com o sistema elétrico regional</b>	
4.1	Linha de transmissão 60 kV	2 200 000
	<b>Subtotal da linha de transmissão</b>	<b>2 200 000</b>
<b>5.</b>	<b>Estaleiro e ensecadeiras (5%)</b>	<b>4 339 378</b>
<b>6.</b>	<b>Gestão e Supervisão da Obra (5%)</b>	<b>4 339 378</b>
<b>7.</b>	<b>Imprevistos (15%)</b>	<b>13 018 134</b>
	<b>Total Geral</b>	<b>156 484 450</b>

(preços, 2011)

## 5. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

## 5. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os trabalhos de topografia visando à formação de uma base de dados necessários e suficientes para o desenvolvimento dos projetos constam dos seguintes serviços: Transporte de coordenadas; Transporte de cotas; Levantamento da área dos eixos barráveis, vertedouros, tomadas d'água, canal/túnel e PCH e Levantamento das jazidas.

Até a presente data do 1º Relatório de Andamento da Fase A-3, foram realizados os seguintes quantitativos de serviços relativos aos estudos topográficos:

TOPOGRAFIA	Unidade	Quantidade
Transporte de cota de RN até a barragem	km	
Transporte de coordenadas para eixo da barragem	UNID.	3,00
Locação e Nivelamento do eixo barravel e sangradouro	km	2,04
Locação e nivelamento para linha de transmissão	km	
Locação e nivelamento da poligonal do canal de sangria e calha do rio	km	1,47
Levantamento de jazidas (malha de 100x100 m)	há	
Seccionamento do eixo e sangradouro	km	61,37
Levantamento Plani altimétrico	há	

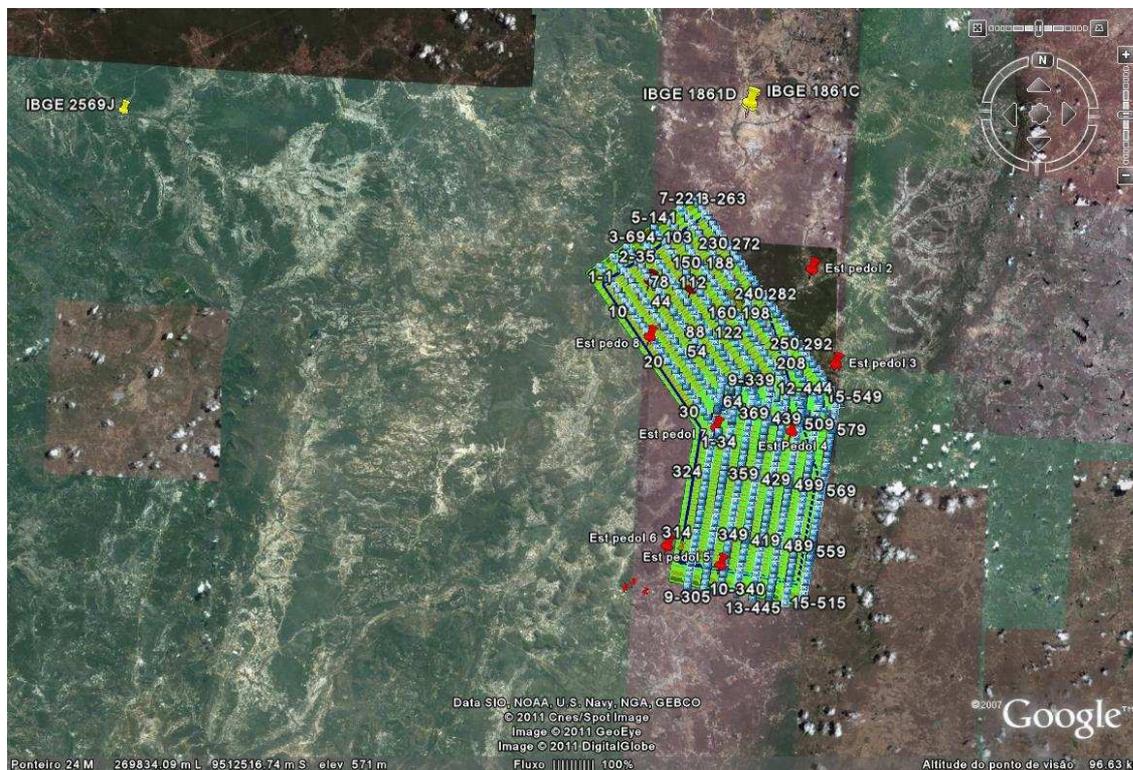
A seguir descreve-se o desenvolvimento atual de cada um desses serviços.

### 5.1. TRANSPORTE DE COTAS

O transporte de cotas esta sendo realizado por nivelamento e contranivelamento, a partir das referencias de nível do IBGE Nº 1861C e e1861D, com coordenadas N 9.539.890 N/284.527 L e 9.539.583 N/284.527 L e cotas 777,405 e 766,744, respectivamente, situada na cidade de Carnaubal, no estado do Ceará, distante cerca de 20 km para a barragem de Inhuçu.

O erro no nivelamento geométrico esta sendo limitado a expressão:  $12,5 \times k$  (em milímetros), onde "k" é o comprimento do caminhamento expresso em km, sendo determinado através da poligonal de contra-nivelamento, levantada após a execução da poligonal de nivelamento.

Na imagem apresentada a seguir é indicado o posicionamento das referências de nível do IBGE em relação à área de estudo do projeto.



O relatório das estações geodésicas do IBGE são apresentados nas paginas seguintes.



## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	1861C	Nome da Estação :	1861C	Tipo :	Estação Altimétrica - RN
Município :	CARNAUBAL			UF :	CE
Última Visita:	13/7/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8092571				

DADOS PLANIMÉTRICOS			DADOS ALTIMÉTRICOS			DADOS GRAVIMÉTRICOS		
Latitude	04 ° 09 ' 37 " S	Altitude Ortométrica(m)	777,4054	Gravidade(mGal)	977.871,37			
Longitude	40 ° 56 ' 27 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Sigma Gravidade(mGal)				
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude (m)	(#)	Precisão	0,05 < E <= 0,10 mGal			
Origem	Transformada	Datum	Imbituba	Datum	RGFB			
S Datum	SAD-69	Data Medição	9/9/1982	Data Medição	5/7/1997			
A Data Medição	13/7/2009	Data Cálculo	15/6/2011	Data Cálculo	5/7/1997			
D Data Cálculo				Correção Topográfica				
6 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	-34,72			
9 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	52,28			
UTM(N)	9.539.890			Densidade	2,67			
UTM(E)	284.537							
MC	-39							
Latitude	04 ° 09 ' 38 " S	Gravidade(mGal)	977.871,37					
S Longitude	40 ° 56 ' 28 " W	Sigma Gravidade(mGal)						
I Fonte	GPS Navegação	Precisão	0,05 < E <= 0,10 mGal					
R Origem		Datum	RGFB					
G Datum	SIRGAS2000	Data Medição	5/7/1997					
A Data Medição	13/7/2009	Data Cálculo	25/10/2006					
S Data Cálculo		Correção Topográfica						
2 Sigma Latitude(m)		Anomalia Bouguer	-35,56					
0 Sigma Longitude(m)		Anomalia Ar-Livre	51,48					
0 UTM(N)	9.539.861	Densidade	2,67					
0 UTM(E)	284.527							
MC	-39							

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <http://geotlp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/RelatorioAjustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [http://geotlp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL\\_sirgas2000.pdf](http://geotlp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sirgas2000.pdf)
- Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em [http://geotlp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL\\_sad69.pdf](http://geotlp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sad69.pdf)
- Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

### Localização

Na base do mastro da bandeiras da Escola Pedro de Melo, na Av. Paulo Sarasate S/N.

### Descrição

Chapa de metal, medindo 6 cm de diâmetro, estampada RN 1861 C.

### (#) Nota:

A Referência de Nível (RN) 1861C pertence a um ramal, isto é, uma linha de nivelamento geométrico que não forma circuito, cujos desníveis, portanto, não podem ser ajustados. Consequentemente, as respectivas altitudes são calculadas mediante simples transporte, sem as estimativas de desvio-padrão.



## Relatório de Estação Geodésica

Estação :	1861D	Nome da Estação :	1861D	Tipo :	Estação Altimétrica - RN
Município :	CARNAUBAL			UF :	CE
Última Visita :	13/7/2009	Situação Marco Principal :	Bom		
Conexões :	EG : 8092570				

DADOS PLANIMÉTRICOS			DADOS ALTIMÉTRICOS			DADOS GRAVIMÉTRICOS		
Latitude	04 ° 09 ' 47 " S	Altitude Ortométrica(m)	766,7435	Gravidade(mGal)	977,873,66			
Longitude	40 ° 56 ' 28 " W	Fonte	Nivelamento Geométrico	Sigma Gravidade(mGal)				
Fonte	GPS Navegação	Sigma Altitude (m)	(#)	Precisão	0,05 < E <= 0,10 mGal			
Origem	Transformada	Datum	Imbituba	Datum	RGFB			
S Datum	SAD-69	Data Medição	9/9/1982	Data Medição	5/7/1997			
A Data Medição	13/7/2009	Data Cálculo	15/6/2011	Data Cálculo	5/7/1997			
D Data Cálculo				Correção Topográfica				
6 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	-34,56			
9 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	51,25			
UTM(N)	9.539.583			Densidade	2,67			
UTM(E)	284.527							
MC	-39							
Latitude	04 ° 09 ' 48 " S	Gravidade(mGal)		Gravidade(mGal)	977,873,66			
S Longitude	40 ° 56 ' 29 " W	Sigma Gravidade(mGal)		Sigma Gravidade(mGal)				
I Fonte	GPS Navegação	Precisão		Precisão	0,05 < E <= 0,10 mGal			
R Origem		Datum		Datum	RGFB			
G Datum	SIRGAS2000	Data Medição		Data Medição	5/7/1997			
A Data Medição	13/7/2009	Data Cálculo		Data Cálculo	25/10/2006			
S Data Cálculo				Correção Topográfica				
2 Sigma Latitude(m)				Anomalia Bouguer	-35,39			
0 Sigma Longitude(m)				Anomalia Ar-Livre	50,45			
0 UTM(N)	9.539.553			Densidade	2,67			
0 UTM(E)	284.497							
MC	-39							

- Ajustamento Altimétrico Simultâneo da Rede Altimétrica em 15/06/2011 - Relatório em <http://geotip.ibge.gov.br/documentos/geodesia/RelatorioAjustamento.pdf>
- Ajustamento Planimétrico SIRGAS2000 em 23/11/2004 e 06/03/2006 - Relatório em [http://geotip.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL\\_sirgas2000.pdf](http://geotip.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sirgas2000.pdf)
- Ajustamento Planimétrico Global SAD-69 em 15/09/1996 - Relatório em [http://geotip.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL\\_sad69.pdf](http://geotip.ibge.gov.br/documentos/geodesia/REL_sad69.pdf)
- Dados Planimétricos para Fonte carta nas escalas menores ou igual a 1:250000, valores SIRGAS2000 = SAD-69

### Localização

No lado esquerdo da porta principal da igreja de Nossa Senhora Auxiliadora, matriz da cidade, na av. Paulo Sarasate S/N.

### Descrição

Chapa de metal, medindo 6 cm de diâmetro, estampada RN 1861 D.

### (#) Nota:

A Referência de Nível (RN) 1861D pertence a um ramal, isto é, uma linha de nivelamento geométrico que não forma circuito, cujos desníveis, portanto, não podem ser ajustados. Consequentemente, as respectivas altitudes são calculadas mediante simples transporte, sem as estimativas de desvio-padrão.

Mantenha-se atualizado consultando periodicamente o BDG.  
Agradecemos a comunicação de falhas ou omissões.  
Para entrar em contato conosco, utilize os recursos abaixo:  
Fale conosco: 0800.218181 E-mail: [ibge@ibge.gov.br](mailto:ibge@ibge.gov.br)

## 5.2. TRANSPORTE DE COORDENADAS

As coordenadas foram transportadas através de instrumentos eletrônicos de última geração, a partir de bases geodésicas do IBGE situadas nas cidades de Fortaleza e Crato. Foram implantados três marcos de concreto no Eixo Inhuçu/Soters, que constituem a origem para o traçado da malha de coordenadas necessárias à elaboração dos desenhos relativos ao projeto da barragem Inhuçu. No eixo Lontras foi implantado, até o momento, um marco de concreto de forma semelhante a descrita anteriormente. Nas fotos a seguir é registrado o procedimento de implantação um marco de coordenadas UTM (datum SIRGAS 2000) e altimetria.



**Foto14: GPS posicionado no marco do eixo Lontras**



**Foto15: Equipe cartografica fazendo rastreamento de satélite com GPS**

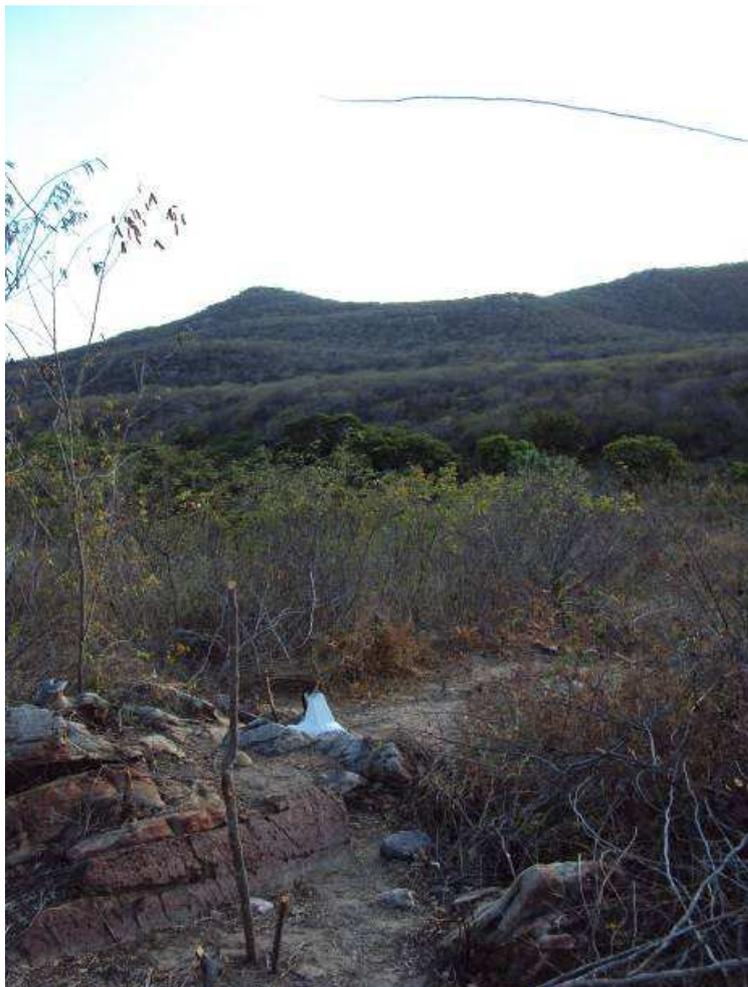


Foto16: Vista do marco M-03 implantado no eixo da barragem Inhuçu



Foto 17: Vista da sondagem mista realizada no eixo da barragem Inhuçu

Para verificar se a precisão obtida é compatível com a escala do levantamento, os marcos do eixo Inhuçu/Soteros foram locados um em relação ao outro, usando-se o próprio GPS. O mesmo será realizado no eixo Lontras.

### **5.3. LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL, VERTEDOIRO E ADUÇÃO**

O eixo Inhuçu/Soteros foi estaqueado de 20 em 20 metros, situando-se a estaca zero na ombreira direita, nas coordenadas UTM 9.521.197N e 283.165E, e tendo a estaca fina na 99+14,28, nas coordenadas 9.520.293N e 284.830E.

O eixo do sangradouro cruza ortogonalmente a estaca 7+10 do eixo e foi locado, para jusante, até a restituição com o leito do rio Inhuçu (1.433,56 m) e, para montante, numa extensão suficiente (709,18 m) para transpor a cota esperada para o canal de aproximação (595,000).

No **desenho III/01**, apresentado no **Anexo III.1** em formato A-1, pode-se observar os pontos do eixo e sangradouro que foram locados e nivelados.

No eixo Lontras uma equipe de topografia encontra-se em fase de locação e nivelamento do eixo e sangradouro. A locação está materializando, num processo semelhante ao descrito para o eixo Inhuçu/Soteros, um eixo com 1.380 m de extensão.

### **5.4. LOCAÇÃO E NIVELAMENTO DA POLIGONAL DO CANAL DE SANGRIA E DA CALHA DO RIO**

A locação e nivelamento do canal de sangria da barragem Inhuçu/Soteros até a restituição ao rio, partiu da estaca 7+10 e transcorreu por uma extensão de 1.433,56 m. Locou-se acompanhando a linha de um talvegue existente, estaqueando-se a cada 20 metros. Todos os pontos foram nivelados a partir das mesmas bases usadas para o eixo da barragem.

Na barragem Lontras o eixo do canal de restituição deverá partir da estaca 60, prosseguindo para jusante, transpondo uma linha de divisor de águas, até um talvegue que deságua no rio Macambiras. A poligonal de levantamento deverá coincidir com o referido talvegue até seu ponto de encontro com o rio.

### **5.5. LEVANTAMENTO DE JAZIDAS (MALHA 100 X 100)**

Todas as cavas de sondagem realizadas nas jazidas Lontras01 e Lontras02 tiveram suas coordenadas registradas através de GPS manual. Após a conclusão da seleção de zonas aproveitáveis das jazidas serão locadas poligonais de contorno dessas zonas, amarradas ao eixo da barragem através de estradas existentes ou por possíveis traçados de futuros caminhos de serviços.

## 5.6. SECCIONAMENTO DO EIXO E SANGRADOURO

Para englobar uma região suficiente para o estudo de diversas alternativas de seções do maciço e dispositivo de sangria da barragem Inhuçu/Soteros, seccionou todas as estacas do eixo de forma a abranger uma faixa de domínio de 200 metros para cada lado. A montante do elemento de sangria as seções estenderam-se além desse valor (chegando até a 400 m), de forma a englobar todo um possível canal de aproximação na cota 595,000. Na região do canal de restituição do caudal de sangria, as seções prolongaram-se até 150 m para cada do eixo deste canal.

Na barragem Lontras igual processo será utilizado, embora os estudos hidrológicos e as limitações impostas para o lago de reservação tenham apontado para um maciço com altura inferior ao da barragem Inhuçu/Soteros.

No **Anexo III.2** são apresentadas planilhas com todos os pontos locados e nivelados para a barragem Inhuçu, englobando o eixo da barragem, eixo do sangradouro, canal de restituição ao rio e canal de aproximação do sangradouro.

## 6. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

## 6. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Os estudos geotécnicos previstos no âmbito dos estudos básicos consistem basicamente da caracterização do subsolo nos locais das barragens, sangradouros, tomadas d'água, canal/túnel e da hidrelétrica, da localização e investigação das ocorrências dos materiais naturais a serem empregados na construção das barragens e das obras de adução e geração de energia, através de prospeções diretas dos locais das obras e das ocorrências e de ensaios de laboratoriais.

Até a presente momento da Fase A-3, foram realizados os seguintes quantitativos de serviços relativos aos estudos geotécnicos:

GEOTECNIA	Unidade	Quantidade
1 Sondagem a pá e picareta	m	
2 Sondagem a percussão	m	2,45
3 Sondagem rotativa em rocha D= NX	m	24,75
4 Sondagem rotativa em rocha D= HX	m	18,05
5 Ensaio de perda d'água, com 5 estagios de pressão	UNID.	01
6 Ensaio de infiltração in situ	UNID.	
7 Sondagem a pá e picareta- argila	m	340,00
8 Sondagens a trado- areia	m	5,00
9 Ensaio de granulometria sem sedimentação	UNID.	6,00
11 Ensaio de granulometria com sedimentação	UNID.	
12 Limite de liquidez	UNID.	6,00
13 Limite de plasticidade	UNID.	6,00
14 Peso específico	UNID.	
15 Umidade natural	UNID.	6,00
16 Proctor normal	UNID.	6,00
17 Permeabilidade (Carga variável)	UNID.	
18 Cisalhamento direto lento	UNID.	
19 Los Angeles	UNID.	
20 Granulometria areais	UNID.	
21 Permeabilidade (carga constante)	UNID.	

## 6.1. SONDAGENS PERCUSSIVAS E ROTATIVAS

As sondagens mecânicas tem por finalidade o fornecimento de elementos para a elaboração dos perfis geológico-geotécnicos representativos contendo a descrição dos materiais das diferentes camadas, as resistências à penetração e outras informações que possam interessar na interpretação das sondagens, bem como quaisquer anomalias observadas no decorrer das perfurações, como perda d'água de circulação, desmoronamento de paredes, etc.

As sondagens percussivas estão sendo realizadas com circulação d'água e cravação de tubos de revestimento de 2 1/2" de diâmetro interno, determinando-se a cada metro de profundidade a resistência à penetração das camadas de solos perfuradas. As camadas de solos atravessados por estas sondagens serão submetidos a ensaios de infiltração (tipo Le Franc) para avaliação da suas permeabilidades.

As sondagens rotativas foram especificadas nos Termos de Referencia para serem executadas com diâmetro NX , objetivando a obtenção de testemunhos, que permitam a identificação das características e descontinuidades do maciço rochoso. No entanto, verificou-se que com tal diâmetro o coeficiente de recuperação da rocha arenítica ficava muito abaixo dos 85% estipulados como mínimo aceitável. Para a obtenção de testemunhos com extensão o mais próximo das manobras realizadas, o Consórcio Engesoft/IBI decidiu pelo uso de diâmetro HX, maior e de custo mais elevado. O uso de diâmetro maior que o previsto possibilitou uma recuperação superior a 85%, permitindo uma análise mais consistente do estado de alteração da rocha, seus fraturamentos, falhas e outras anomalias. Ensaio de perda d'água foram programados "a priori" para serem executados a cada 3,0 m , de forma descendente. No entanto, nos locais de perda de liquido de circulação ou de elevada perda d'água as extensões serão reduzidas de forma a se indentificar exatamente o local de grande condutibilidade hídrica.

O plano de sondagem preliminar para a barragem Inhuçu é apresentado no **desenho IV/01**, situado no **Anexo IV.1**. Salienta-se que este plano será readequado conforme os resultados das sondagens, para investigar possíveis anomalias da fundação ou para comportar alguma estrutura específica desenvolvida no arranjo das obras. Desta programação inicial foram realizados os furos SM-11 e SM-12, ambos situados no lado esquerdo da calha dos rios Inhuçu e Piaus.

No **Anexo IV.2** apresenta-se o boletim de campo destas sondagens iniciais.

Para o eixo Lontras também gerou-se um plano de sondagens mecânicas, que prioriza a investigação inicial da possível anomalia da ombreira esquerda, aventada no relato do Geólogo

Guido Guidicini, apresentado no Relatório de Identificação das Obras (RIO). O plano de sondagens do Lontras é apresentado no **desenho IV/02**, localizado no **Anexo IV.1**.

### **Estudo dos Materiais Construtivos**

A ocorrência de materiais construtivos foi investigada preliminarmente através de reconhecimento geral da região de entorno das obras, por uma equipe constituída por um engenheiro geotécnico, um geólogo, um engenheiro barragista e um chefe de laboratório. Inicialmente concentrou-se na região situada dentro das possíveis bacias hidráulica dos barramentos e em áreas já exploradas ou em exploração.

As áreas identificadas como possíveis de investigação, assim com as indicadas por representantes de autarquias estaduais (DER-CE, CAGECE) e municipais (secretarias de obras de Croatá, Carnaubal e Guaraciaba do Norte), foram repassadas a uma equipe de geotecnia que procedeu as sondagens exploratórias, ensaios de caracterização e permeabilidade.

Constatou-se a escassez de solos argilosos, areias médias e grossas e rochas de dureza satisfatória e de elevada resistência ao desgaste. Existe abundância de areias finas siltosas e rochas areníticas pouco consolidadas.

A montante do eixo Lontras foram selecionadas três ocorrências de solos areno argilosos envolvidos em grande percentual de fragmentos de rochas areníticas, de dimensões variadas. Na ombreira esquerda foram demarcadas a jazida 01, com 90 furos de sondagem manual, e a jazida 02, com 120 furos. Na ombreira direita, a montante do sangradouro, encontra-se em investigação a jazida 03 com uma área que envolverá 80 furos exploratórios.

Um arquivo fotográfico dos furos de investigação das jazidas Lontras 01 e Lontras 02 é apresentado o Anexo IV.3.

Para fonte de material pétreo destinado aos enrocamentos encontra-se em estudo a identificação de horizontes bem consolidados de um afloramento arenítico que ocorre na ombreira esquerda anexo a jazida 01.

Os bancos de areia que ocorrem no rio Macambira, junto ao eixo e imediatamente a montante, apresentam-se com um granulometria média a fina, que tem possibilidade de atender aos critérios para funcionamento como filtro/dreno. No entanto, esta sendo avaliado o volume disponível desse material, que a princípio parece ser muito reduzido.

A localização das jazidas em estudo, para aplicação no maciço da barragem Lontras, encontra-se apresentada no desenho IV/03, posicionado no Anexo IV.1.

Para suprir as necessidades do maciço da barragem Inhuçu/Soteros foram selecionadas duas grandes áreas, ambas a jusante do eixo. A primeira, denominada Inhuçu 03, encontra-se em exploração para suprimento das camadas de pavimento da estrada Croatá- Ipueiras, obra em implantação pelo DER-CE. O material que engloba desde cascalho arenoso a areia siltosa pouco argilosa não apresenta características de permeabilidade e plasticidade que os indiquem para zonas impermeáveis do maciço. O material desta jazida poderá ser indicado para o espaldar de jusante do maciço ou zonas “de pêso”, portanto, deverá ser objeto de uma campanha de investigação sistemática.

Na mesma estrada que acessa a jazida Inhuçu 03, estrada Croatá- Pedro II, existe um área de material com características potencialmente favoráveis ao uso no núcleo do maciço. O material constitui-se de um solo areno argiloso, com IP entre 11 e 12% e permeabilidade entre  $10E-6$  e  $5x10E-7$  cm/s. A área da ocorrência esta sendo delimitada por meio de poços de investigação para posterior definição de uma malha de furos de sondagens.

A jazida Inhuçu 03 dista 12 km até o eixo Inhuçu/Soteros e a jazida Inhuçu 04 dista cerca de 20 km para o mesmo eixo.

A jusante do eixo da barragem, particulares exploram a extração de areia de textura fina e média, com uso de pequenas dragas. Embora a areia média mostrar-se apropriada para uso no sistema de drenagem da barragem, o potencial volumétrico do rio é muito reduzido e o processo de lavra assemelhado a uma “garimpagem”. Nenhuma outra área na serra da Ibiapaba foi identificada como potencialmente fornecedora de areia adequada à barragem. Existe uma forte tendência deste material restringir-se a rios situados na região da depressão sertaneja.

No Anexo IV.1 encontra-se o desenho IV/04, relativo a localização das referidas áreas de jazidas e no Anexo IV.4 os boletins de campo das investigações das jazidas, com croquis dos furos.

## 6.2. ENSAIOS LABORATORIAIS

Para a investigação das jazidas Lontras 01, 02 e 03 procedeu-se a uma programação de extração de amostras que objetivam caracterizar os horizontes de solos encontrados nas jazidas, através de ensaios laboratoriais.

Na tabela abaixo resume-se o plano de extração e ensaios dos materiais das jazidas destinadas ao uso no maciço da barragem Lontras.

<b>PLANO DE AMOSTRAGEM PARA ENSAIOS GEOTÉCNICOS NAS JAZIDAS DA BARRAGEM LONTRAS</b>				
<b>SERVIÇO</b>	<b>JAZIDA LONTRAS 01</b>	<b>JAZIDA LONTRAS 02</b>	<b>JAZIDA LONTRAS 03</b>	<b>TOTAL DE AMOSTRAS</b>
Amostra de solo areno- argiloso para ensaio de caracterização, compactação, permeabilidade, cisalhamento (*)	21	27	15	63
Amostra de solo areno- siltoso para ensaio de caracterização, compactação, permeabilidade, cisalhamento (*)	03	06	0	09
Amostra de solo areno- argiloso para ensaio de LL/LP	15	21	15	51
<b>TOTAL GERAL DE AMOSTRAS</b>				<b>123</b>

(\*) os ensaios de granulometria com sedimentação, permeabilidade e de cisalhamento não serão realizados em todas as amostras coletadas, mas sim num numero menor, porém representativo do universo.

Estão previstos os seguintes tipo de ensaios, para os diversos materiais naturais selecionados para a construção dos maciços das barragens:

#### **a) Solos areno-argilosos**

- Limites de Atterberg
- Umidade Natural
- Peso Específico Natural
- Granulometria (com ou sem sedimentação)
- Compactação Proctor Normal.
- Permeabilidade

#### **6.2.1. Ensaios de Cisalhamento Direto Saturado Lento**

Ensaio de Adensamento

#### **b) Areias**

- Umidade Natural
- Peso Específico Natural
- Granulometria
- Peso Específico Máximo e Mínimo
- Permeabilidade

### c) Materiais Pétreos

- Ensaio de Abrasão Los Angeles
- No **Anexo IV.5** são apresentados os resultados dos ensaios preliminares realizados em amostras das jazidas terrosas pesquisadas.

## 7. CONCLUSÕES

---

## 7. CONCLUSÕES

1 – Os estudos Cartográficos necessários ao detalhamento do sistema ao nível de Viabilidade foram concluídos com a elaboração de base cartográfica digital resultante de fotointerpretação de imagens de satélite.

A referida base foi estabelecida em virtude da impossibilidade de conclusão da restituição aerofotogramétrica, em prazo hábil, sem que fosse impactado o cronograma contratual. Com esta medida foi possível uma fotointerpretação mais precisa e atualizada (maio de 2011), bem como a consecução de carta com precisão suficiente para o prosseguimento dos estudos.

2 – Com a análise mais aprofundada da abrangência das obras a serem projetadas, chegou-se a conclusão que a área de restituição aerofotogramétrica fosse revista de modo a englobar todas as soluções, e ampliada além das expectativas iniciais.

3 – Conforme já relatado no presente documento, os serviços pedológicos previstos abrangeriam 4.900 há de terras a serem estudadas ao nível de Reconhecimento de Solos com potencial de utilização para irrigação com as águas disponibilizadas com a operação conjunta dos reservatórios a serem construídos.

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

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

- Área Inhuçu – Situada á jusante do açude Inhuçu, se estende até a bacia hidráulica do futuro “Açude Lontras” acompanhando os curso de água dos rios Macambira/Inhuçu. Hoje já é bem exploradas, e terá sua irrigação atendida com condução de água por gravidade

desde o reservatório homônimo até os pontos de tomada de água de cada proprietário irrigante;

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

Para a área Lontras, sem nenhum estudo pedológico precedente, praticamente sem exploração agrícola irrigada, onde os solos apresentam maior potencialidade para utilização com agricultura irrigada, na qual poderá ser implantado um importante projeto de irrigação, estudou-se a mesma ao nível de semidetalhe.

Para a mancha Inhuçu, atualmente relativamente muito explorada com agricultura, e com estrutura fundiária estabelecida e bem definida elaborou-se um estudo de reconhecimento pedológico.

Os estudos pedológicos concluíram que os solos estudados nas duas áreas da bacia do Macambira/Inhuçu apresentam boa potencialidade para exploração com irrigação em área de 3825 ha.

4 – Pelos resultados obtidos nos estudos hidrológicos, conclui-se que as chuvas críticas para a bacia do Açude Inhuçu ( $t_c = 9\text{hs}$ ) para  $T_r$  de 1.000 e 10.000 anos são, respectivamente, 146 e 175 mm. Para a bacia do Açude Lontras (sem barramentos a montante) ( $t_c = 14\text{hs}$ ), estes valores são 150,4 e 180,1mm. Já para a área livre do Açude Lontras (retirando a área controlada pelo Açude Inhuçu) ( $t_c=7\text{hs}$ ), os valores encontrados são 100 e 120mm.

4 - Para o futuro açude Inhuçu, concluiu-se que o eixo Inhuçu/Soteros é o mais apropriado pois, além de ser a única alternativa que preserva o distrito de Barra de Sotero, com aproximadamente 542 habitantes (censo 2010), preserva integralmente as zonas aluvionares agricultáveis que ocorre entre Sotero e a sede do município de Croatá (cerca de 980 há de terras irrigáveis). Nesse eixo as condições topográficas permitem a implantação de uma estrutura de sangria, na ombreira direita, com uma escavação volumetricamente aproveitável no maciço da barragem.

5 - Para o açude Lontras concluiu-se que o eixo denominado “Lontras” (estudado pelo DNOCS na década de cinqüenta) é o mais adequado pois envolve menor extensão e volume de maciço além de apresentar boa condição topográfica para implantação de

sistema de vertimento na ombreira direita. Para a ratificação do local definitivo do eixo do barramento faz-se necessária investigação geotécnica na área onde foi aventada a possibilidade de anomalia geológica que poderia implicar em insegurança na fundação. Tal investigação já foi programada e encontra-se em fase de implementação.

6 - Dada a complexidade da execução, dúvidas quanto á geotecnia, morosidade construtivas e custos associadas ao túnel de adução, concluiu-se que deveria ser aprofundada uma alternativa que possibilite a utilização da água em locais mais próximos aos açudes de modo a reduzir o custo da adução, beneficiar prioritariamente a bacia doadora (região da Ibiapaba), melhorando os indicadores das avaliações econômicas e financeiras para o projeto.

Uma nova alternativa está sendo avaliada pelo Consórcio ENGESOFT/IBI considerando a utilização de toda a água produzida, em decorrência dos açudes Inhuçu e Lontras, na região da Ibiapaba sem transposição para a bacia do Acaraú. Por este motivo, foram levantadas pedologicamente áreas margeando a bacia hidráulica do açude Lontras que poderão ser beneficiadas com irrigação. Os estudos indicaram que cerca de 4.000 há de solos são aptos para irrigação a uma distância de no máximo 3 km da bacia hidráulica do futuro reservatório Lontras.

