



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Procuradoria Geral do Estado

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

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

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

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

**ETAPA B3 - PROJETOS EXECUTIVOS DAS OBRAS
Projeto de Irrigação da Ibiapaba**

VOLUME II — ESTUDOS DE DRENAGEM



**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 B3 – PROJETOS EXECUTIVOS DAS OBRAS

Projeto de Irrigação da Ibiapaba

Volume II – Estudos de Drenagem

Janeiro de 2013

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 previa 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 da região hidrográfica do Parnaíba/Poti.

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 Projeto executivo da Ibiapaba faz parte da Etapa B3 – Projetos Executivos das Obras, e abrange especificamente o Projeto de Irrigação de uma área de superfície agrícola útil (SAU) de 2.590,78 ha, constando dos seguintes volumes:

- **Volume I – Memorial Descritivo**
- Volume II– Estudos de Drenagem
- Volume III – Estudos Geotécnicos
- Volume IV – Estudos Pedológicos
- Volume V – Métodos Construtivos
- Volume VI – Projeto Elétrico
- Volume VII – Orçamento
- Volume VIII – Especificações Técnicas
- Volume IX – Desenhos

O Projeto apresentado engloba as informações técnicas necessárias á contratação e implantação das obras necessárias ao aproveitamento com irrigação de uma área de até 3.000 ha com as águas derivadas do controle proporcionado pelos Açudes Lontras e Inhuçu.

O presente relatório trata-se do **Volume II- Estudos de Drenagem** do Projeto de Irrigação.

ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	3
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL.....	12
3. CLIMATOLOGIA	15
3.1. GENERALIDADE.....	15
3.2. TEMPERATURA	16
3.3. UMIDADE RELATIVA.....	17
3.4. EVAPORAÇÃO	17
3.5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL	19
3.6. INSOLAÇÃO.....	20
3.7. VELOCIDADE DOS VENTOS	21
4. ESTUDO PLUVIOMÉTRICO	23
5. ESTUDO FLUVIOMÉTRICO.....	28
6. DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM.....	31
6.1. O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NA ÁREA DE DRENAGEM DOS CANAIS DO PROJETO.....	31
6.1.1. Metodologia para Cálculo das Chuvas Intensas.....	31
6.1.2. Estimativas dos Valores das Precipitações Máximas Pontual.....	34
6.2. DIMENSIONAMENTO DOS BUEIROS.....	36
6.2.1. Determinação da Duração da Chuva Crítica	37
6.2.2. Conversão da Chuva Pontual em Chuva Espacial e Vazões de Pico.....	38
6.3. DIMENSIONAMENTO DAS VALETAS DE PROTEÇÃO DOS CANAIS.....	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará.....	12
Figura 3.1: Localização das estações climatológicas de sobral e crateús em relação a área de estudo (retângulo em vermelho)	15
Figura 3.2: Temperaturas Máximas, Médias e Mínimas na Área em Estudo (em °C).....	16
Figura 3.3: Umidade relativa (%) na Área em Estudo.....	17
Figura 3.4: Evaporação média mensal na Área em Estudo.....	19
Figura 3.5: Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)	20
Figura 3.6: Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)	21
Figura 3.7: Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s).....	21
Figura 4.1: Isoietas das bacias do poti, acarauá e coreauá (retângulo em vermelho marca a área em estudo).....	23
Figura 4.2: O regime de chuvas no posto Guaraciaba do norte	25
Figura 4.3: O regime de chuvas no posto carnaubal	25
Figura 4.4: O regime de chuvas no Posto Croatá	25
Figura 4.5: Precipitações anuais nos postos pluviométricos croatá e guaraciaba do norte	26
Figura 5.1: Vazões médias mensais afluentes a barragem Lontras (hm ³)	29
Figura 6.1: Isozonas de igual relação	33
Figura 6.2: Curvas I-D-F para o posto pluviométrico Croatá.	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1: Características das estações climatológicas sobral e crateús.....	16
Quadro 3.2: Umidade Relativa na Área em Estudo (em %)	16
Quadro 3.3: Umidade relativa (%) na Área em Estudo	17
Quadro 3.4: Evaporação mensal média na Área em Estudo (mm) Atmômetro Piché	18
Quadro 3.5: Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)	20
Quadro 3.6: Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)	20
Quadro 3.7: Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s)	21
Quadro 4.1: Características dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal.....	24
Quadro 4.2: Precipitação média mensal dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal	24
Quadro 5.1: Características do Posto Fluviométrico Croatá.....	28
Quadro 5.2: Características das séries afluentes ao posto fluviométrico croata e ao Açude Lontras.....	28
Quadro 5.3: Vazões médias Mensais Afluentes às barragens Inhuçu e Lontras (hm ³)	28
Quadro 6.1: Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos de Croatá.....	34
Quadro 6.2: Precipitações máximas (mm) em Croatá com durações de 1 dia para diferentes períodos de retorno, seguindo a distribuição Pearson Tipo III.....	34
Quadro 6.3: Precipitações máximas com duração de 24 horas, 1 hora e 6 minutos no posto Croatá.....	35
Quadro 6.4: Características das bacias hidrográficas dos bueiros do canal Croatá	37
Quadro 6.5: Resultados das chuvas intensas para s bueiros do canal Croatá.	37
Quadro 6.6: Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial para as bacias hidrográficas dos bueiros	38
Quadro 6.7: Vazões de pico para os bueiros.....	39
Quadro 6.8: Dimensionamento dos bueiros	39
Quadro 6.9: Vazões de pico para os trechos de valeta de drenagem do canal Croatá.	40
Quadro 6.10: Vazões de pico para as valetas de drenagem do canal Croatá.	41
Quadro 6.11: resumo do comprimento de cada seção adotada para as valetas de drenagem do canal Croatá.	43

1. INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório apresenta os resultados do estudo de drenagem da parcela do escoamento superficial da bacia hidrográfica localizada a montante do Canal do município de Croatá, parte integrante do eixo de integração da Ibiapaba/CE. Para o estudo foram consideradas 8 (oito) sub-bacias.

Os elementos de drenagem são formados basicamente por:

- a) Elementos ortogonais como bueiros, passagem molhada e uma ponte canal que atravessarão a água provinda basicamente dos talvegues cortados pelo canal principal;
- b) Elementos paralelos como valetas de drenagem que correm ao longo do Canal Principal e captam as águas que não irão diretamente para o talvegue, despejando estas diretamente nos bueiros.

Para o dimensionamento destas obras foram executados estudos de precipitação e escoamento máximos para os tempos de recorrência de 5, 25, 50 e 100 anos. Os resultados apresentam 7 (sete) bueiros celulares variando entre simples, duplos e triplos com dimensões entre 1,5 e 3,0 metros e declividade de 0,004 e 0,01 m/m. Uma passagem molhada com 97,00 m de extensão e uma ponte canal com 103,70 m de extensão. Além de 14 (quatorze) valetas de drenagem com seções de terra com talude 1 por 2, coeficiente de Manning de 0,03, altura entre 1,5 e 2,7 metros, base entre 0,5 e 1,5 metros e declividade entre 0,00043 e 0,0008 m/m.

2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O canal de croatá capta água diretamente da bacia hidráulica formada pelo barramento Lontras, localizado no rio Macambira (afluente do rio Poti) na área da Serra da Ibiapaba, na porção oeste do Estado do Ceará. Desde a sua nascente até o local do barramento Lontras, tal rio percorre cerca de 75 km, drenando uma área livre de 567 km² (área não controlada pelo barramento Inhuçu-Sotero, a montante cerca de 25 km com área de 847 km²). A localização da área de estudo, em relação ao Estado do Ceará e bacias vizinhas, pode ser observada na **Figura 2.1**.

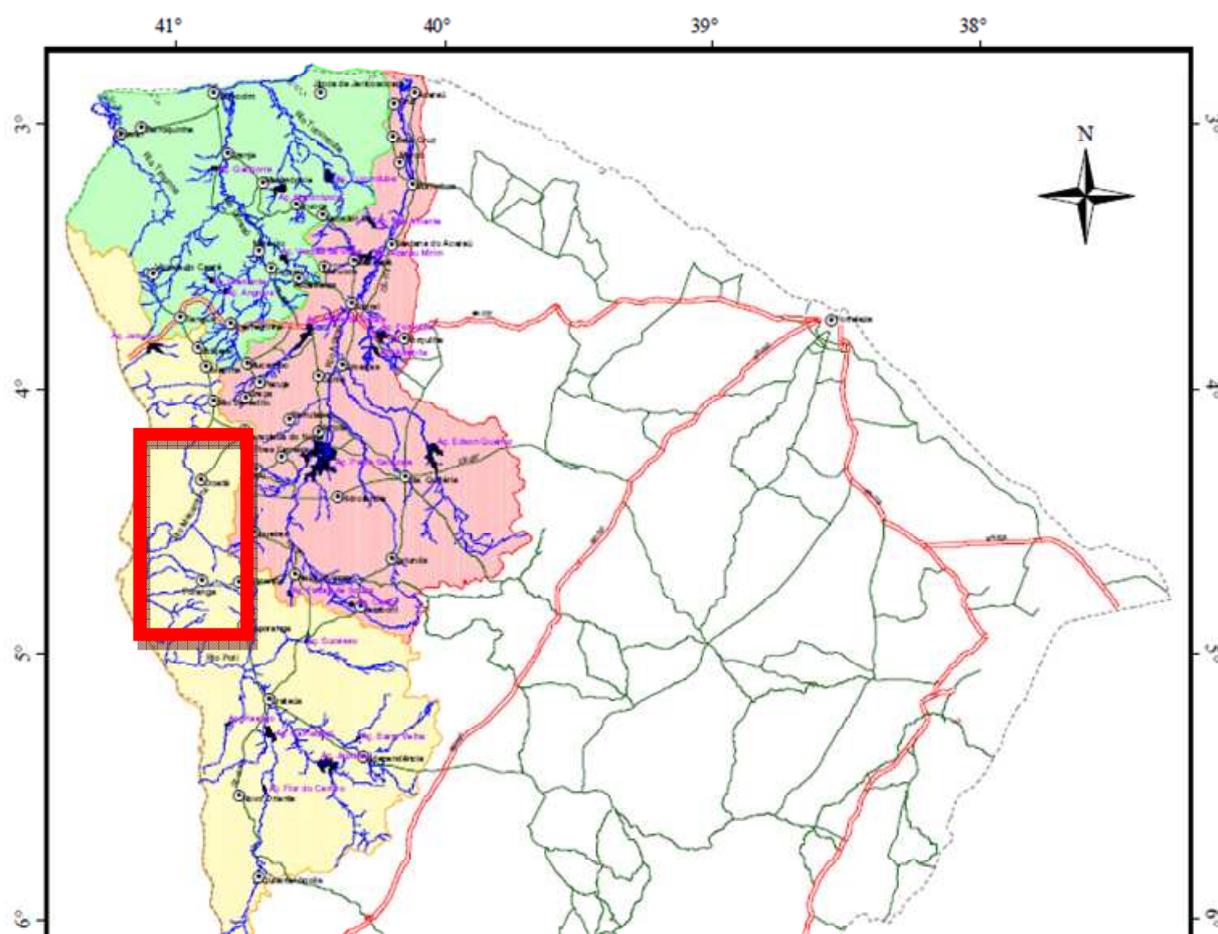


Figura 2.1: Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará

As condições climáticas regionais apresentam temperaturas médias em torno de 27°C com valores máximos nos meses de setembro a dezembro (33,5°C) e os mínimos nos meses de abril a julho (22,4°C). Em escala anual, a insolação 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. A umidade média anual se situa em torno de 70% e a velocidade média anual dos

ventos é de 2,2 m/s. A evaporação anual média observada é de 1.774,8 mm com a evapotranspiração anual média estimada por Hargreaves de 1.895,5mm e por Penman-Montheith de 1.790,7mm, distribuída ao longo dos meses.

Percebe-se, pela distribuição sazonal das chuvas, que os principais sistemas atuantes na bacia são: a *Zona de Convergência Intertropical* (chuvas de março a maio); *Sistemas Frontais* (dezembro a janeiro) e *Ondas de Leste* (junho a agosto). Os três sistemas agindo conjuntamente geram alta pluviometria na porção nordeste da bacia, justificada pela influência da Serra da Ibiapaba, com índices que chegam a mais de 1.000 mm. 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, onde será implantado o Projeto de Irrigação.

O território da área onde será implantado o Projeto de Irrigação Ibiapaba encontra-se quase integralmente assente sobre os sedimentos da Formação Serra Grande, aparecendo com menor representatividade as Aluviões do rio Macambira, afluente do rio Poti. A Formação Serra Grande tem ocorrência restrita à área do Planalto da Ibiapaba. Integra a sequência de unidades sedimentares da Bacia do Parnaíba (ou Bacia do Maranhão-Piauí) e compreende um pacote de arenitos finos a grosseiros e conglomeráticos, com intercalações siltosas e argilosas, bem definidas, cuja presença pode ser observada nos afloramentos das escarpas da Serra da Ibiapaba. Sua posição é basal, em relação à estratigrafia da bacia, apoiando-se diretamente sobre o substrato cristalino.

Com relação à geomorfologia, a área do estudo encontra-se posicionada sobre o Planalto da Ibiapaba que coincide com um nível de aplainamento desenvolvido nos arenitos da Formação Serra Grande com altitudes variando de 550 a 900 metros e rede de drenagem pouco densa. O relevo possui leves ondulações de onde se destacam pequenos montes de termitas. A monotonia topográfica é quebrada pela presença de patamares interiores escalonados em vários níveis e de áreas isoladas submetidas a intensos processos de dissecação. Tais áreas caracterizam-se por um relevo acidentado e por apresentarem as melhores exposições de rochas. Nas áreas aplainadas é notória a escassez de afloramentos em face de uma espessa cobertura areno-quartzosa de cores esbranquiçada e creme amarelada.

Analisando a distribuição dos principais tipos de solos observa-se a predominância de solos propícios ao uso agrícola, conforme se pode constatar pelos resultados dos estudos pedológicos específicos elaborados na área ao nível de semidetalhe. Predominam os Neossolos Quartzarênicos, seguidos pelos Latossolos Vermelho Amarelo Distróficos e em menor escala pelos Neossolos Litólicos.

3. CLIMATOLOGIA

3. CLIMATOLOGIA

3.1. GENERALIDADE

A abordagem climatológica visa apresentar uma caracterização climática da área para permitir uma melhor visão do ambiente onde o canal de Croatá está inserido e dar subsídios às etapas subsequentes.

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 3.1**). As características das estações climatológicas mencionadas encontram-se no **Quadro 3.1**.

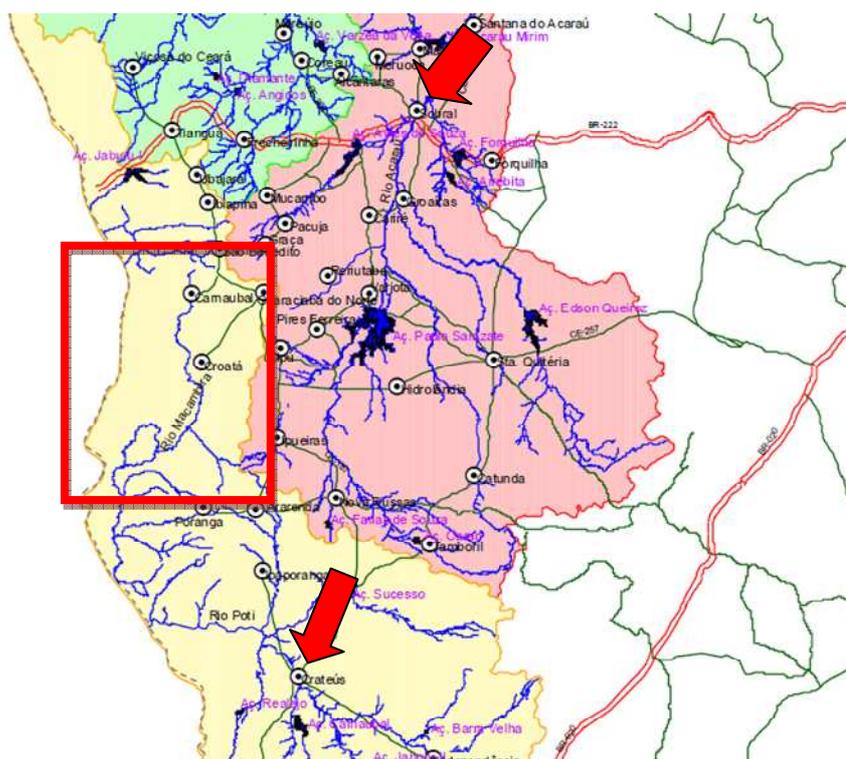


Figura 3.1: Localização das estações climatológicas de Sobral e Crateús em relação a área de estudo (retângulo em vermelho)

Quadro 3.1: 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 semiárida 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.

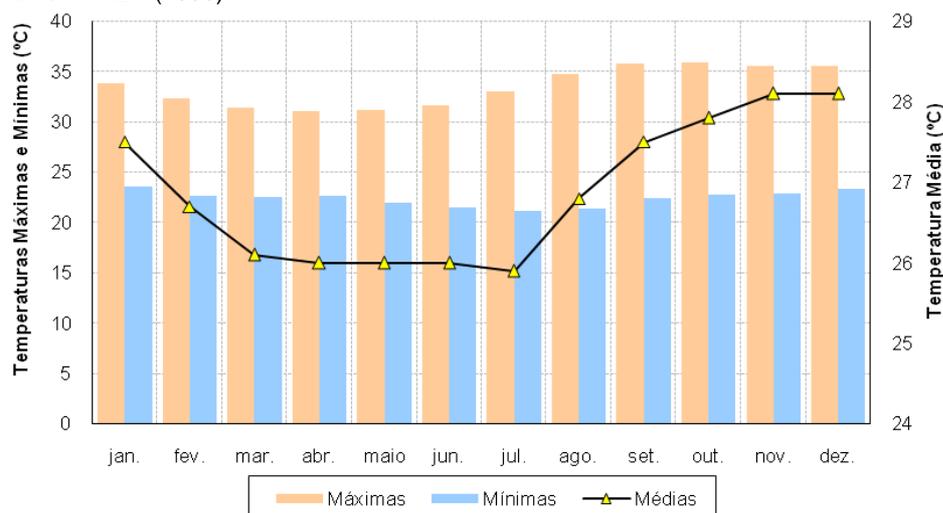
3.2. TEMPERATURA

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 3.2** e na **Figura 3.2** são apresentados os valores de temperaturas médias, máximas e mínimas na estação Sobral.

Quadro 3.2: Umidade Relativa na Área em Estudo (em %)

T (°C)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	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 3.2: Temperaturas Máximas, Médias e Mínimas na Área em Estudo (em °C).

3.3. 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 3.3** e na **Figura 3.3**.

Quadro 3.3: Umidade relativa (%) na Área em Estudo

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	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)

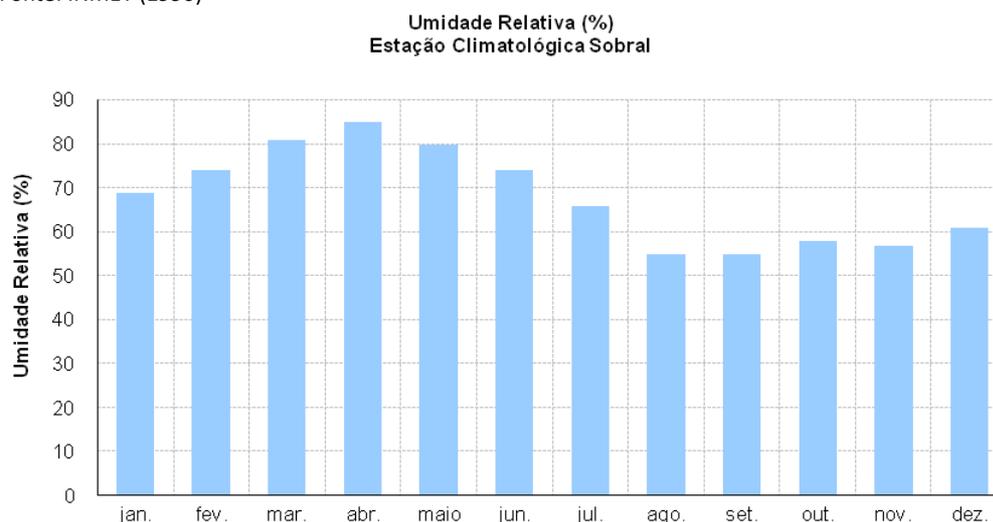


Figura 3.3: Umidade relativa (%) na Área em Estudo

3.4. EVAPORAÇÃO

Adotando-se a estação climatológica Sobral como representativa da área em estudo, verifica-se que a evaporação anual média observada é de 1.774,8 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o **Quadro 3.4** e **Figura 3.4**.

O **Quadro 3.4** apresenta ainda a evaporação nas 13 estações climatológicas do Estado. Observa-se que a estação Crateús (localizada na bacia do Poti) apresenta o maior valor para este parâmetro no Estado. Considerando-se que a região em estudo apresenta altitudes mais elevadas, acredita-se que a estação de Sobral, cujo valor é de 1.774,8 mm, realmente consiga representar melhor o fenômeno na bacia (observe que Guaramiranga, outra região de serra, tem

sua evaporação estimada em 605,9mm. A escolha de Sobral, com evaporação menor que Crateús, é ainda corroborada pelo valor da evaporação encontrado em uma estação em bacia vizinha, em Piripiri - Piauí. Tais medições, realizadas pelo INMET/DNOCS, apontam a evaporação média anual de 1.819,00 mm na Estação Climatológica Caldeirão.

É importante salientar que os dados da Tabela 2.5 se referem às 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, no capítulo de simulação do balanço hídrico do reservatório, quando se utilizar dados de evaporação, não utilizar-se-á o coeficiente de redução de evaporação K_a proposto por Molle e Cadier (1989).

Quadro 3.4: Evaporação mensal média na Área em Estudo (mm) Atmômetro Piché

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Acaraú	165,5	121,9	77,7	72,9	98,5	121,9	158,5	239,0	270,4	279,4	276,2	232,9	2114,8
Aracati	154,4	129,9	129,7	105,6	131,5	134,0	182,1	219,3	238,2	249,4	192,3	157,0	2023,4
Barbalha	151,6	107,7	93,7	96,1	135,5	170,4	208,1	256,5	274,4	254,7	235,0	208,7	2192,4
Campos Sales	165,7	102,3	91,1	92,6	139,6	170,3	222,6	283,7	291,2	296,3	254,2	221,9	2331,5
Crateús	242,5	138,4	106,3	86,8	119,1	178,6	248,5	310,0	350,7	373,0	353,3	315,1	2822,3
Fortaleza	127,7	93,8	72,4	67,5	80,5	93,5	115,2	153,2	159,2	163,9	158,9	149,4	1435,2
Guaramiranga	55,1	41,2	28,0	25,4	27,2	31,6	44,7	64,6	71,6	75,1	73,3	68,1	605,9
Iguatu	158,8	103,7	90,2	80,2	95,7	127,9	172,6	205,3	217,5	230,1	215,5	203,1	1900,6
Jaguaruana	195,3	137,1	104,6	90,9	105,4	124,7	167,4	204,9	225,0	231,3	214,4	206,2	2007,2
Juaz. do Norte	172,6	126,2	107,5	114,7	147,5	184,8	238,0	277,4	295,9	297,0	259,9	227,9	2449,4
Morada Nova	208,6	140,5	99,2	95,3	110,4	139,1	189,2	240,7	265,1	282,8	256,7	255,8	2283,4
Quixeramobim	195,2	128,5	95,3	72,3	77,9	100,8	134,3	197,4	234,3	264,9	245,4	242,7	1989,0
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	1774,8
Tauá	207,9	149,1	116,7	91,5	108,3	148,9	188,1	212,8	231,5	281,8	266,0	254,7	2257,3

Fonte: INMET (1990)



Fonte: INMET (1990)

Figura 3.4: Evaporação média mensal na Área em Estudo

3.5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL

Dentre os métodos disponíveis para a estimativa da evapotranspiração potencial (ET_p) 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 2.1**.

$$\lambda_e \cdot ET_{pot} = \frac{\Delta_{vap} (R_n - G) + \rho_{ar} \cdot c_p \left(\frac{e_s - e_a}{r_a} \right)}{\Delta_{vap} + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \quad (2.1)$$

Onde: ET_{pot} - evapotranspiração potencial, λ_e - entalpia da evaporação da água, Δ_{vap} - curva que descreve a pressão de saturação do vapor d'água, e_a - pressão de saturação do vapor, γ - 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 (°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 Etp 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 2:

$$ETP = F \cdot (100 - U)^{1/2} \cdot 0,158 \cdot (32 + 1,8 T_{comp}) \quad (2.2)$$

onde: F - Fator dependente da latitude (adimensional); T_{comp} - Temperatura média compensada em °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 3.5** e **Figura 3.5**.

Quadro 3.5: Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)

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

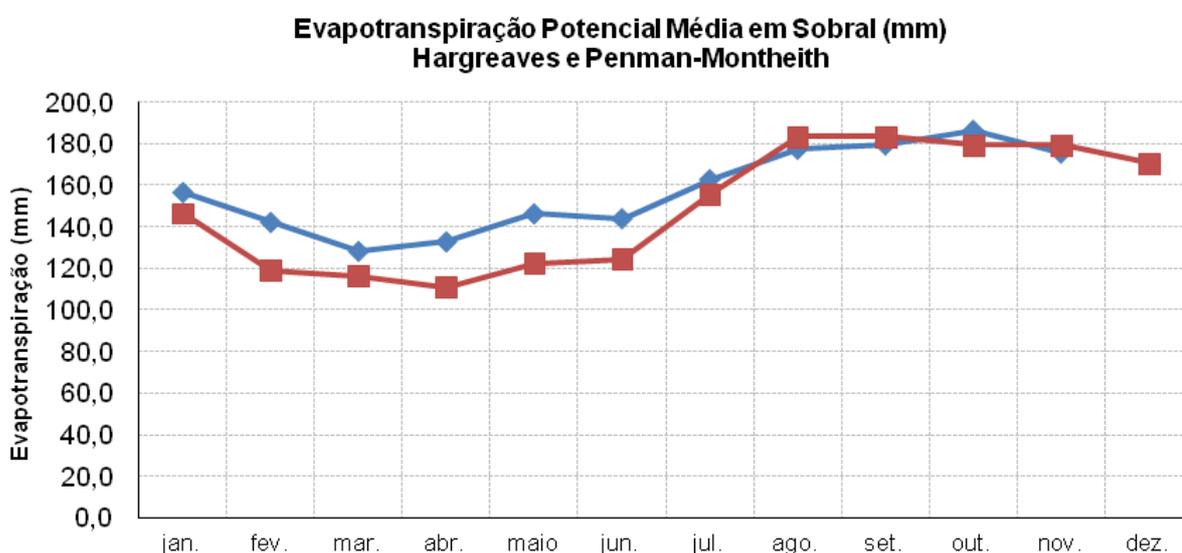


Figura 3.5: Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)

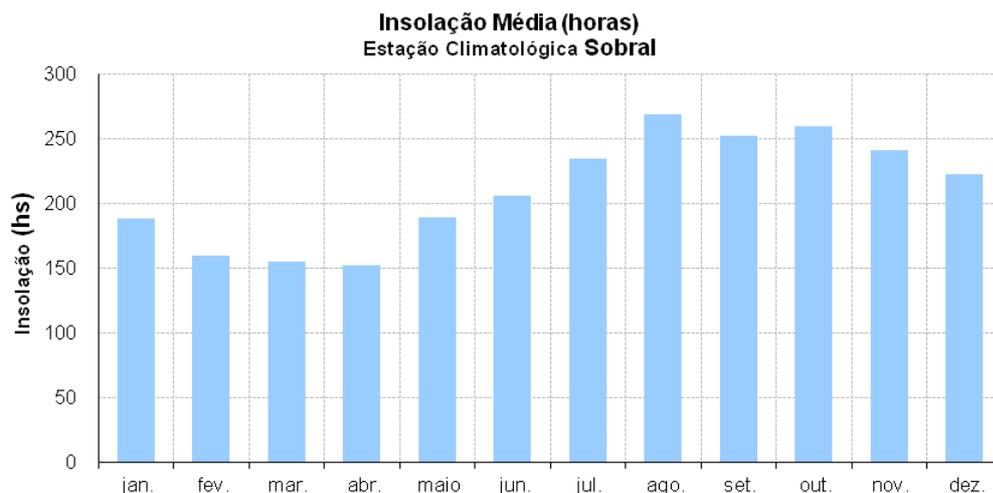
3.6. INSOLAÇÃO

O **Quadro 3.6**, juntamente com a **Figura 3.6**, 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 3.6: Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)

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

Fonte: INMET (1990)



Fonte: INMET (1990)

Figura 3.6: Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)

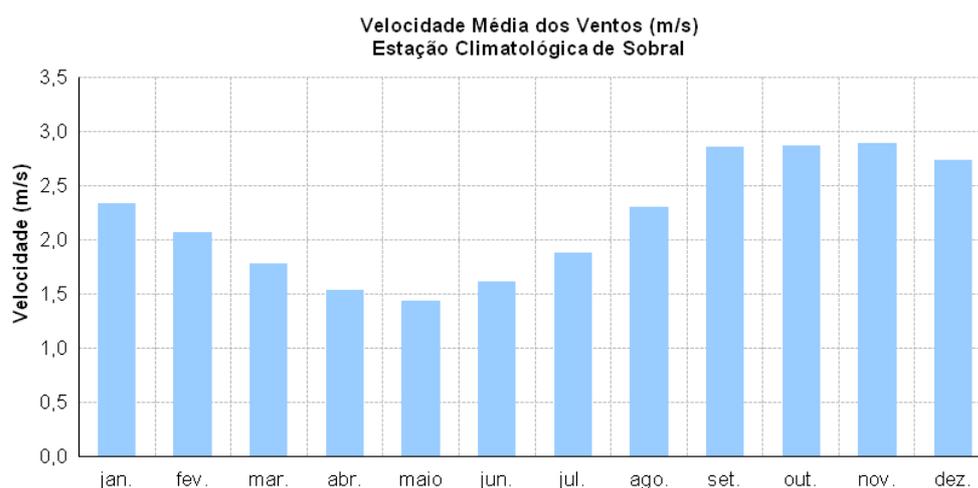
3.7. VELOCIDADE DOS VENTOS

A insolação média anual é de 2,2 m/s, distribuída ao longo dos meses conforme **Quadro 3.7** e **Figura 3.7**.

Quadro 3.7: Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s)

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

Fonte: INMET (1990)



Fonte: INMET (1990)

Figura 3.7: Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s)

4. ESTUDO PLUVIOMÉTRICO

4. ESTUDO PLUVIOMÉTRICO

A **Figura 4.1** 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 pluviosidade na porção nordeste da bacia (marcada com retângulo vermelho), justificada pela influência da Serra da Ibiapaba, com índices que chegam a mais de 1.000 mm. No entanto, uma região de maior aridez, com índice inferior a 800 mm, abrange parcela significativa da região em estudo e quase toda a bacia do rio Poti.

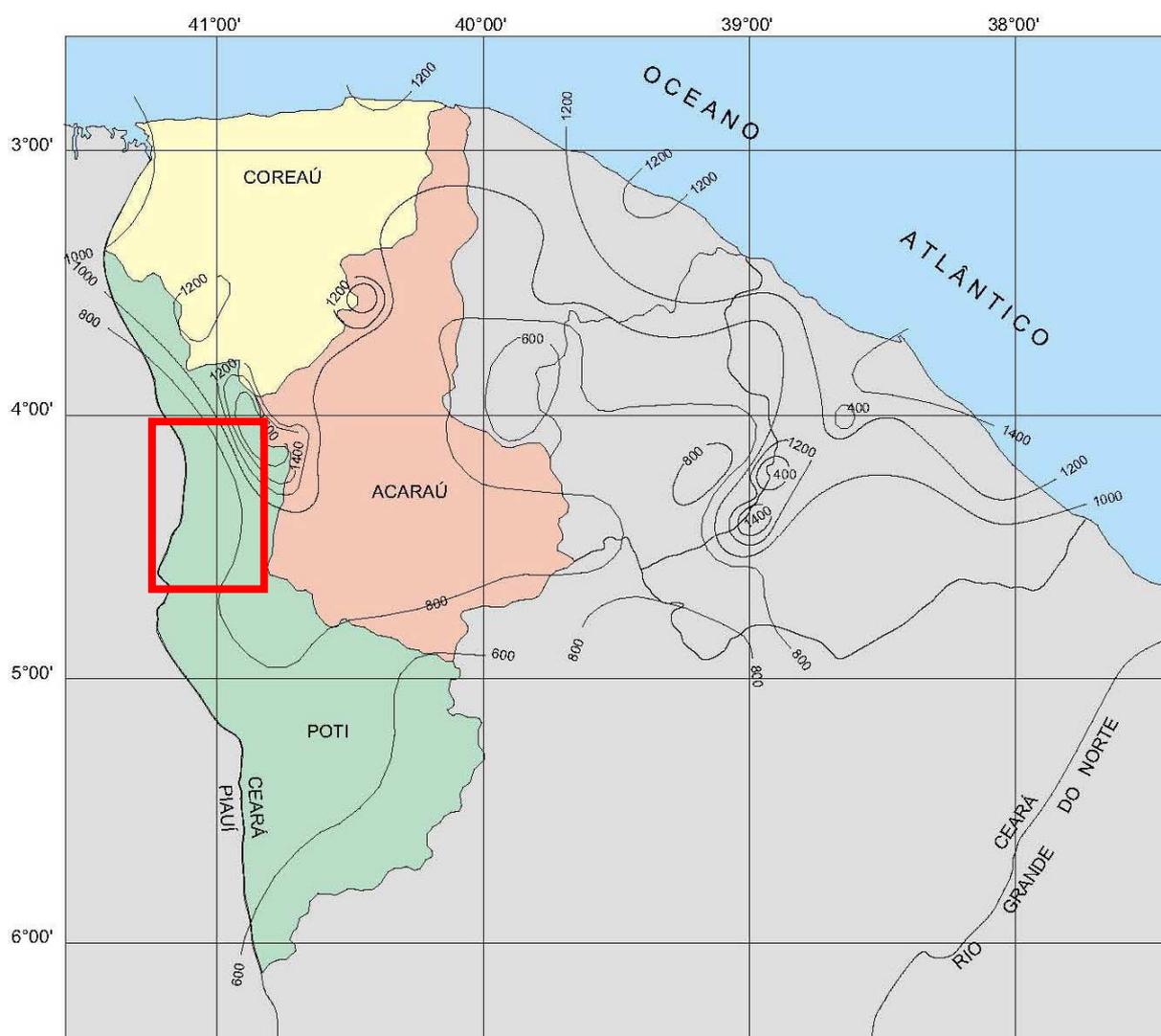


Figura 4.1: Isoietas das bacias do potí, acaraú e coreaú (retângulo em vermelho marca a área em estudo)

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. Os postos pluviométricos selecionados para esse estudo foram Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal onde as características encontram-se no **Quadro 4.1**. A distribuição das precipitações mensais nestes postos e na bacia hidrográfica do barramento de Lontras (Polígono de Thiessen) é mostrada no **Quadro 4.2**.

Quadro 4.1: Características dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal

Município	Posto	Código	Latitude	Longitude	Altitude	Período	Operadora
Croatá	Croatá	440005	4:24:59S	40:54:15W	820 m	1962-2010	ANA
Guarac. do Norte	Guarac. do Norte	440023	4:11:00S	40:45:00W	380 m	1912-2010	FUNCEME
Carnaubal	Carnaubal	440004	4:10:00S	40:57:00W	700 m	1962-2010	FUNCEME

Fonte: Banco de dados Hidroweb

Quadro 4.2: 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	599,7
Guarac. 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	1.259,6
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	576,9
Thiessen	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 4.2 a 4.4** que o regime de chuvas nos postos em questão e na bacia em estudo é o da região norte do Nordeste. Percebe-se, pela distribuição sazonal das chuvas, que o principal sistema atuante na bacia é a *Zona de Convergência Intertropical* responsável pelas chuvas de março a maio. Em caráter secundário, atuam os *Sistemas Frontais*, de dezembro a janeiro, e, em menor escala, as *Ondas de Leste*, responsáveis pelas chuvas de junho a agosto; os três sistemas agindo conjuntamente.

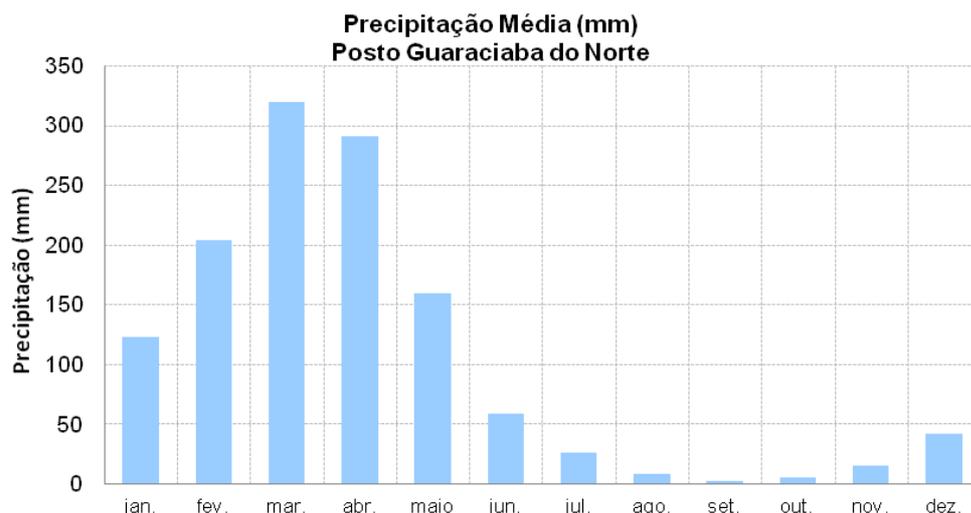


Figura 4.2: O regime de chuvas no posto Guaraciaba do norte

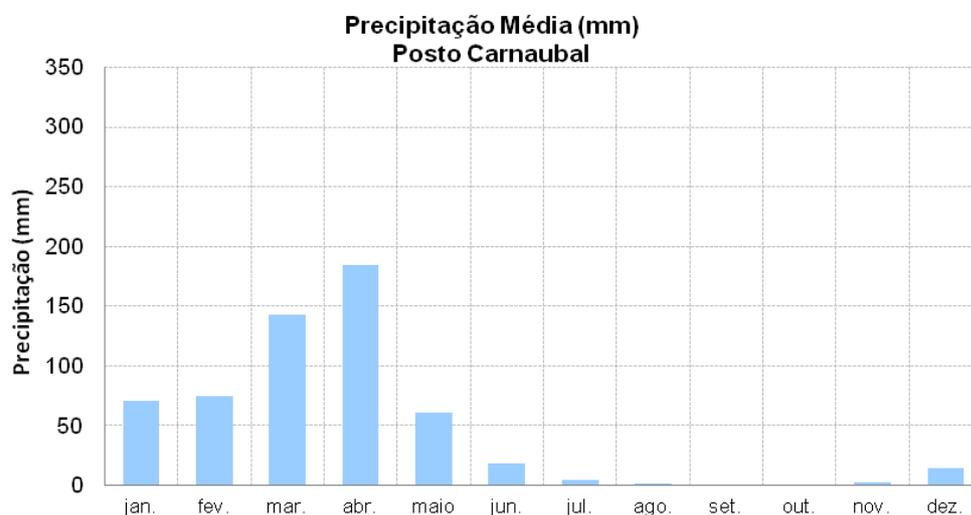


Figura 4.3: O regime de chuvas no posto carnaubal

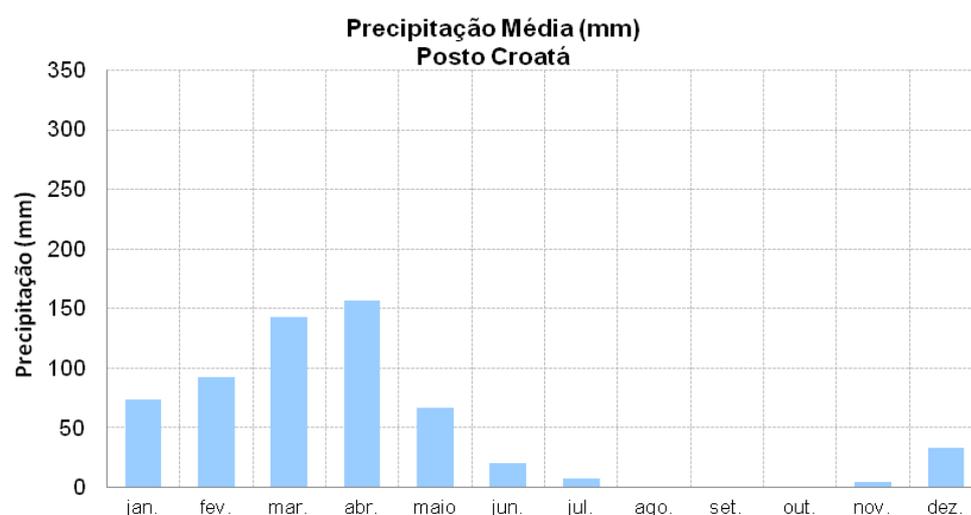


Figura 4.4: O regime de chuvas no Posto Croatá

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.

Uma característica marcante das chuvas da região Semiárida 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 intranual e a interanual. No que se refere à variabilidade intranual ele se mostra na sazonalidade das chuvas – um período chuvoso bem definido (o ‘inverno’) e um período seco, mais longo. No que se refere à variabilidade interanual, é a maior do mundo, somente comparável ao noroeste da Austrália. Anos extremamente chuvosos e extremamente secos se intercalam de maneira tão irregular que dificulta sobremaneira a previsão do total precipitado durante a estação chuvosa.

A **Figura 4.5** 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.

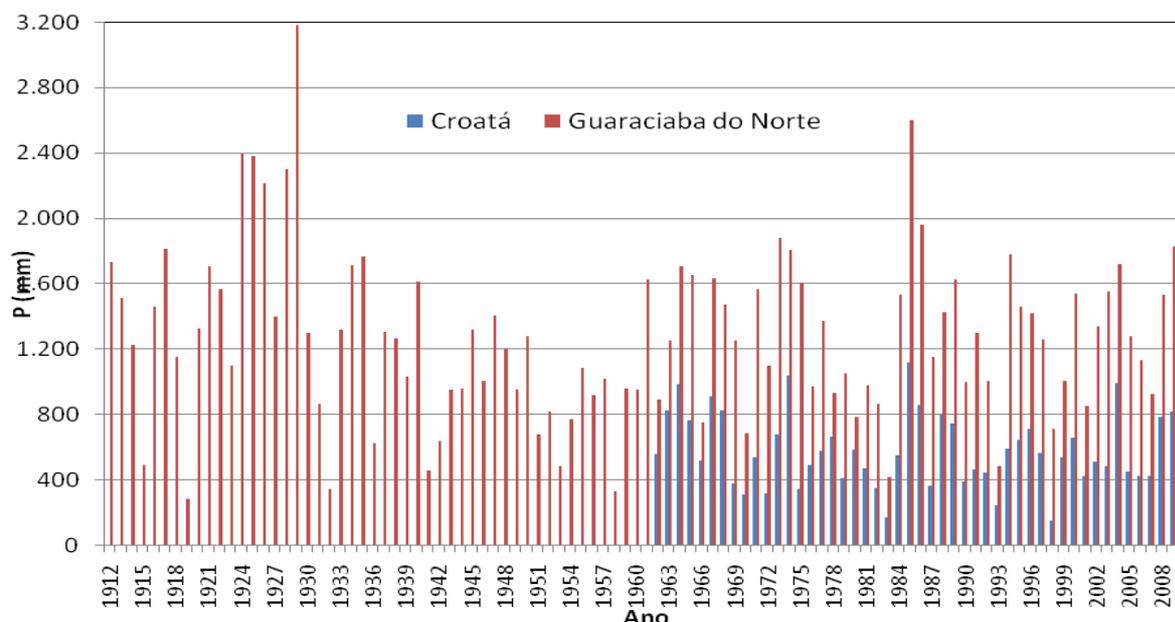


Figura 4.5: Precipitações anuais nos postos pluviométricos croatá e guaraciaba do norte

5. ESTUDO FLUVIOMÉTRICO

5. ESTUDO FLUVIOMÉTRICO

Os dados fluviométricos disponíveis nas seções de controle, consolidar estes dados e caracterizar o regime fluvial do rio Inhuçu (Macambira) no sítio das barragens Lontras onde é feita a captação para o canal de crotá que distribuirá o volume de água necessário para o projeto de irrigação.

A fonte de dados fluviométricos é o banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas; a bacia está localizada em “Bacias do Atlântico Norte-Nordeste - Sub-Bacia 34”. Observa-se a existência de um posto fluviométrico no mesmo rio a ser barrado – o posto Croatá – cujas principais características são apresentadas no **Quadro 5.1**. A bacia de drenagem do Posto Fluviométrico Croatá situa-se a montante da barragem Lontras. Sendo assim, a série histórica afluyente ao citado barramento foi determinada utilizando-se os dados do Posto Fluviométrico Croatá, corrigida pela relação entre as áreas (**Quadro 5.2**). O regime fluvial do Rio Macambira no sítio da barragem Lontras pode ser observado no **Quadro 5.3** e **Figuras 5.1**.

Quadro 5.1: Características do Posto Fluviométrico Croatá

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área (km ²)	Operando
34730000	Croatá	Croatá	4°24'56"	40°54'39"	580	1.030,0	sim

Fonte: HIDROWEB (banco de dados eletrônico)

Quadro 5.2: Características das séries afluentes ao posto fluviométrico croata e ao Açude Lontras

	Est. Fluviométrica Croatá	Açude Lontras
Área (km²)	1.030 km ²	1.414 km ²
Vazão Média Afluyente Anual (μ)	3,77 m ³ /s (116,8 hm ³ /ano)	5,26 m ³ /s (163,1 hm ³ /ano)
Coefficiente Variação	0,9	0,9
Extensão da Série	1963–2006 (27 anos s/ falhas)	1963–2006 (27 anos s/ falhas)

Quadro 5.3: Vazões médias Mensais Afluentes às barragens Inhuçu e Lontras (hm³)

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Lontras	6,1	8,7	21,6	32,1	28,2	17,8	15,4	11,0	8,3	5,7	3,9	4,3

Fonte: Hidroweb

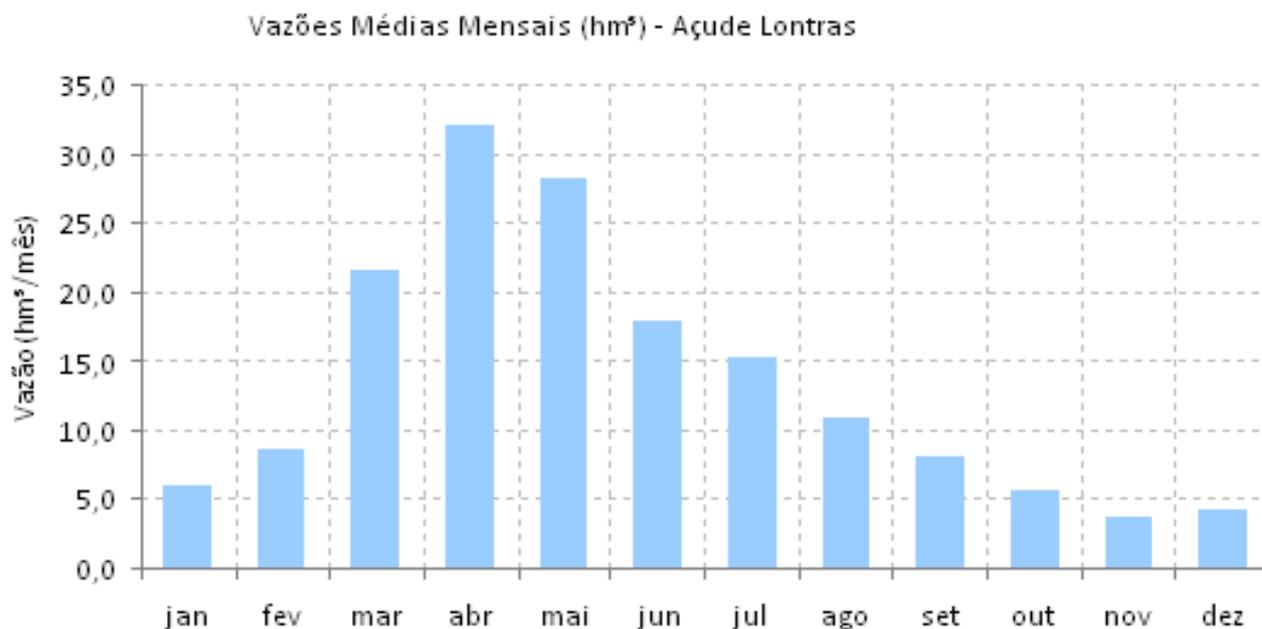


Figura 5.1: Vazões médias mensais afluentes a barragem Lontras (hm³)

6. DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM

6. DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM

As obras de drenagem projetadas têm por finalidade dar segurança às estruturas componentes do projeto, contra os efeitos danosos das cheias decorrentes de chuvas intensas com determinado período de retorno.

As obras são compostas de valetas ao longo do canal com a função de proteção dos taludes quando o canal se apresenta em aterro e evitar a entrada de materiais carreados pelo escoamento superficial da bacia de contribuição quando o canal apresenta-se em corte, além de bueiros sob os maciços dos canais direcionando o fluxo dos talvegues que o atravessam.

Foram delimitadas 8 (oito) sub-bacias de contribuição ao longo de todo o trajeto do canal para o cálculo dos bueiros. Para as valetas foram determinadas 18 (dezoito) sub-bacias de contribuição. Todas as sub-bacias estão situadas do lado esquerdo do trajeto do mesmo. As características destas serão descritas em itens subsequentes.

A partir dos dados relativos às bacias de contribuição, foi determinada a vazão de projeto para cada uma delas. No cálculo das vazões de projeto adotou-se a Fórmula Racional para as bacias hidrográficas com áreas menores que 5,0 km² e para o restante o Método do Hidrograma Unitário (SCS).

6.1. O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NA ÁREA DE DRENAGEM DOS CANAIS DO PROJETO

Este item tem como objetivo principal a determinação das chuvas intensas, com períodos de retorno iguais a 5, 25, 50 e 100 anos, sobre a área drenagem dos canais. A metodologia utilizada é a das Isozonas (Torricco, 1975), na qual são estimadas as precipitações máximas pontuais, de acordo com a duração e frequência necessária.

6.1.1. Metodologia para Cálculo das Chuvas Intensas

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, alguns postos estão desativados; os ativos têm uma série histórica pequena ou com muitas falhas. Assim, selecionou-se para o estudo de chuvas intensas, o posto Croatá por ser considerado mais representativo da área em estudo, devido sua proximidade e características da série.

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 a 24 horas e 6 minutos a 24 horas são constantes para um dado período de retorno (**Figura 6.1**).

A metodologia empregada obedece a sequência descrita a seguir:

Selecionar o posto pluviométrico;

Selecionar, para cada ano, o valor da precipitação máxima diária e formar a série de máximos anuais;

Ajustar a série de máximos anuais a uma ou mais distribuições de probabilidade e executar, para cada uma delas, o teste do qui-quadrado para verificar a qualidade do ajustamento;

Selecionar uma distribuição de probabilidades e estimar, para os períodos de retorno desejados, a chuva intensa de um dia de duração;

Transformar a chuva de um dia em chuva de 24 horas de duração através da relação

$$P_{24h} = 1,1 P_{1dia} \quad (6.1)$$

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 1 hora de duração, através da multiplicação pelo fator R

$$P_{1h} = R \cdot P_{24h} \quad (6.2)$$

Calcular a chuva de 6 minutos hora de duração, através da multiplicação pelo fator R'

$$P_{6min} = R' \cdot P_{24h} \quad (6.3)$$

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

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

$$P_A = P_0 \cdot (1 - W \cdot \log(\frac{A}{A_0})) \quad (6.4)$$

onde:

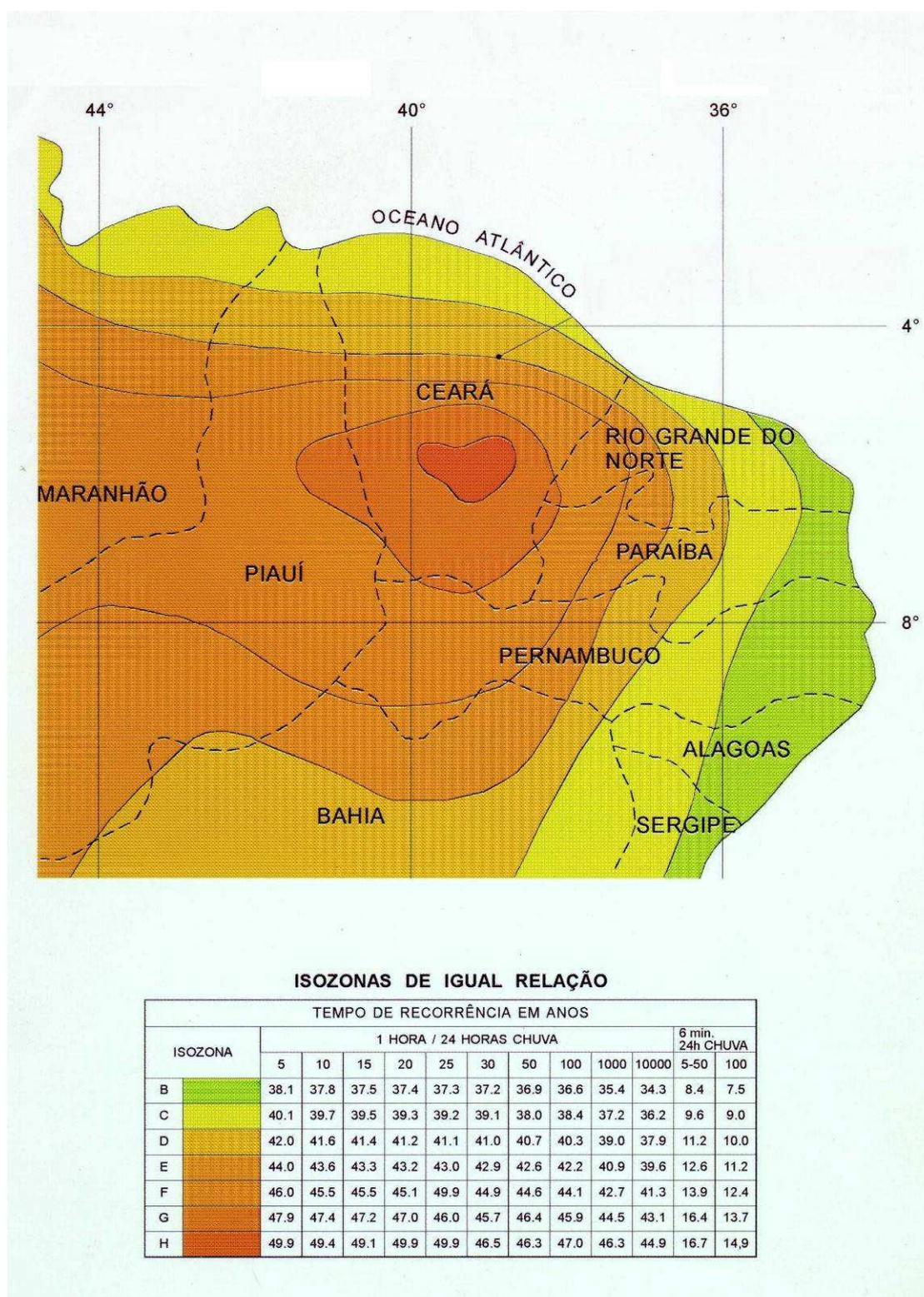
W = parâmetro regional;

P_A = Precipitação sobre toda a área, em mm;

P₀ = Chuva pontual, em mm;

$A = \text{Área em estudo, em km}^2$;

$A_0 = 25 \text{ km}^2$ (área base para chuva pontual)



Fonte: Torrico, 1975

Figura 6.1: Isozonas de igual relação

6.1.2. Estimativas dos Valores das Precipitações Máximas Pontual

Os dados diários de precipitação dos postos selecionados foram extraídos do banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas. Calcularam-se, para cada ano, as chuvas máximas com duração de 1 dia. No **Quadro 6.1** foram estimadas as principais estatísticas que caracterizam o regime de chuvas máximas. Para a série de chuvas máximas anuais foram testados, através do software EXVAL, os ajustamentos a várias distribuições de probabilidades. Os resultados, para os diferentes períodos de retorno, utilizando-se a distribuições de probabilidades Pearson Tipo II (Gama 2 parâmetros), que mostrou um excelente grau de ajustamento, encontram-se no **Quadro 6.2**.

Quadro 6.1: Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos de Croatá

Características da Precipitação Máxima	Posto Pluviométrico de Croatá
Média (mm)	64,6
Desvio Padrão (mm)	20,8
Coefficiente de Variação	0,32
Valor Máximo Observado (mm)	117,4
Valor Mínimo Observado (mm)	30,0

Quadro 6.2: Precipitações máximas (mm) em Croatá com durações de 1 dia para diferentes períodos de retorno, seguindo a distribuição Pearson Tipo III

Tempo de retorno (anos)	Precipitação Máxima Diária (mm)
5	81,3
25	104,3
50	115,1
100	123,1
1.000	152,9
10.000	181,4

As chuvas virtuais de 24 horas de duração, contidas no **Quadro 6.3**, foram obtidas multiplicando-se as precipitações contidas no **Quadro 6.2** pelo fator 1,10 (para $P_{1\text{dia}}$) de acordo com a equação (4.2). Ainda no **Quadro 6.3**, são apresentadas as precipitações intensas pontuais de 1 hora e 6 minutos de duração no posto Croatá, para os diferentes períodos de retorno, foram obtidas multiplicando-se a chuva pontual de 24 horas pelo fator R, de acordo com as equações 4.3 e 4.4,

respectivamente. Neste caso, os valores de R são determinados sabendo-se que a área em estudo se localiza na Isozona D. As chuvas intensas pontuais de durações entre 6 minutos e 24 horas podem ser observadas na **Figura 6.2** para o posto pluviométrico de Croatá.

Quadro 6.3: Precipitações máximas com duração de 24 horas, 1 hora e 6 minutos no posto Croatá.

Tempo de Retorno	P _{24h} (mm)	P _{1h} (mm)	P _{6min} (mm)
5 anos	89,07	37,41	9,98
25 anos	114,23	46,95	12,79
50 anos	126,07	51,31	14,12
100 anos	134,83	54,34	13,48
1.000 anos	168,19	65,59	-
10.000 anos	199,54	77,82	-

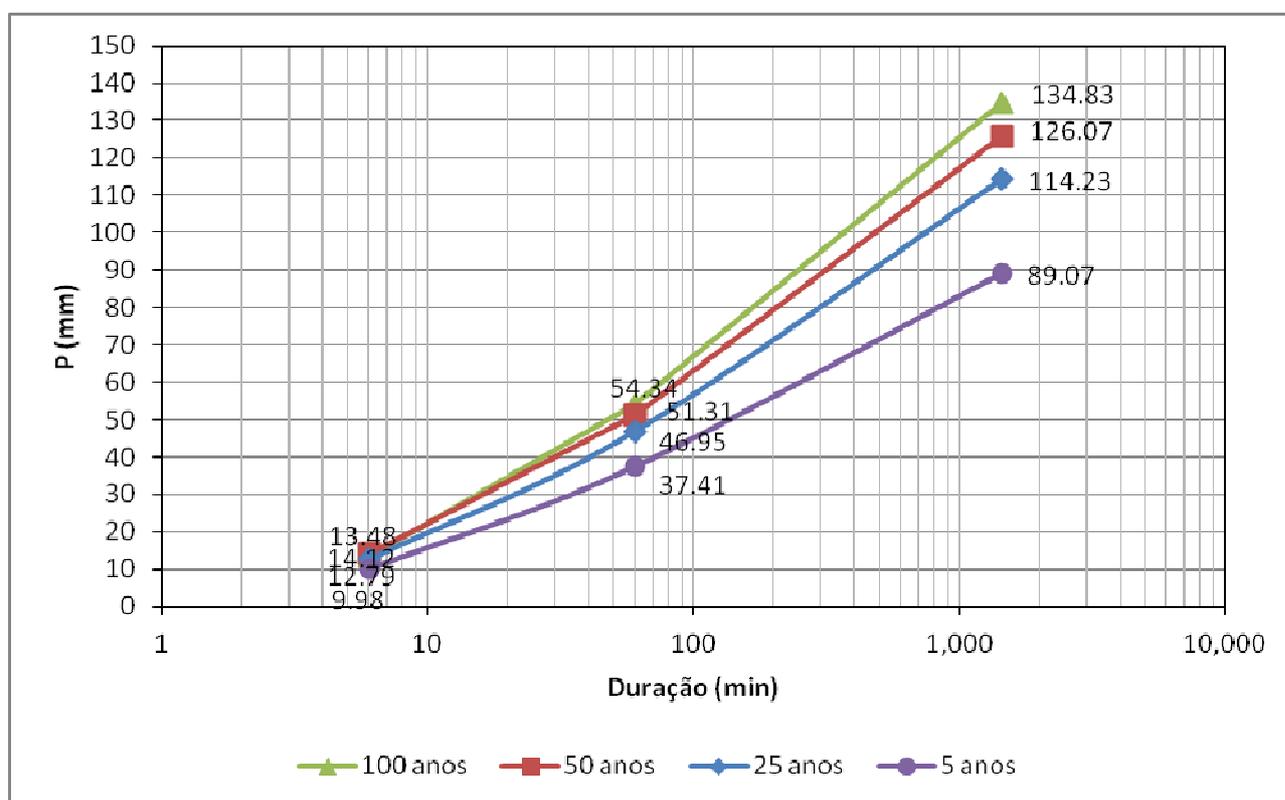


Figura 6.2: Curvas I-D-F para o posto pluviométrico Croatá.

6.2. DIMENSIONAMENTO DOS BUEIROS

Para a drenagem dos riachos que cruzam os canais projetados foram planejados oito bueiros. Suas dimensões foram definidas para uma chuva intensa com tempo de recorrência de 50 anos para os bueiros com áreas menores de 25,0 km² e tempo de recorrência de 100 anos para os bueiros com áreas maiores. Para bueiros com área de drenagem de acima de 5,0 km² as vazões de pico foram calculadas pelo Método do Diagrama Unitário do SCS. Os bueiros com áreas menores as vazões de pico foram calculadas pelo Método Racional.

- O Método Racional:

$$Q = 0,278.C.i.A \quad (6.5)$$

onde:

Q = Vazão de projeto, em m³/s;

c = coeficiente de escoamento superficial;

A = Área da bacia contribuinte, em km²;

i = intensidade de chuva, em mm/h, para um determinado tempo de retorno (Tr) e um tempo de concentração calculado pela fórmula:

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (6.6)$$

t_c = tempo de concentração, em minutos;

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

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

- O Método do Hidrograma Unitário do SCS:

$$h_e = \frac{(h - 0,2S)^2}{h + 0,8S} \quad \text{para } h > 0,2S \quad (6.7)$$

onde:

h_e = chuva excedente;

h = chuva acumulada;

S = retenção potencial do solo;

A quantidade de 0,2S é uma estimativa de perdas iniciais, devidas à interceptação e retenção em depressões. Por esta razão impõe-se a condição $P > 0,2S$.

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (6.8)$$

onde:

CN número de curva e varia entre 0 e 100

O parâmetro CN depende dos seguintes fatores: tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo, umidade antecedente do solo.

6.2.1. 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.

As características da bacia hidrográfica dos bueiros e seus respectivos tempos de concentração são apresentados **Quadro 6.4**. O **Quadro 6.5** apresenta o resultado das chuvas intensidades para os tempos de retorno de 5, 25, 50 e 100 anos.

Quadro 6.4: Características das bacias hidrográficas dos bueiros do canal Croatá

Elemento de Drenagem	Coordenadas (UTM)	A (km ²)	L (km)	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	ΔH (m)	t _c (min)
Bueiro 1 (B1)	289366; 9510237	24,80	8,85	850,00	562,00	288,0	80
Bueiro 2 (B2)	288943; 9508732	7,81	4,50	720,00	560,00	160,00	46
Bueiro 3 (B3)	288511; 9507717	1,09	1,66	650,00	564,00	86,00	18
Bueiro 4 (B4)	288592; 9506681	0,82	1,13	650,00	564,00	86,00	12
Bueiro 5 (B5)	289075; 9505865	1,24	1,64	650,00	564,00	86,00	18
Bueiro 6 (B6)	289372; 9505617	80,33	15,15	880,00	555,00	325,00	142
Bueiro 7 (B7)	288157; 9504602	1,10	1,60	610,00	564,00	46,00	22
Bueiro 8 (B8)	288153; 9503258	1,43	1,67	610,00	563,00	47,00	23

Quadro 6.5: Resultados das chuvas intensas para s bueiros do canal Croatá.

Elemento de Drenagem	t _c (min)	Precipitação Máxima Pontual – Po(mm)				Intensidade de Chuva – I(mm/h)			
		Tr = 5 anos	Tr = 25 anos	Tr = 50 anos	Tr = 100 anos	Tr = 5 anos	Tr = 25 anos	Tr = 50 anos	Tr = 100 anos
Bueiro 1 (B1)	80	42,08	53,04	58,08	61,62	31,56	39,78	43,56	46,22
Bueiro 2 (B2)	46	34,24	43,01	47,02	49,62	44,66	56,10	61,33	64,72
Bueiro 3 (B3)	18	23,06	29,09	31,86	32,97	76,87	96,97	106,20	109,90
Bueiro 4 (B4)	12	18,23	23,07	25,31	25,78	91,15	115,35	126,55	128,90
Bueiro 5 (B5)	18	23,06	29,09	31,86	32,97	76,87	96,97	106,20	109,90

Elemento de Drenagem	t _c (min)	Precipitação Máxima Pontual – Po(mm)				Intensidade de Chuva – I(mm/h)			
		Tr = 5 anos	Tr = 25 anos	Tr = 50 anos	Tr = 100 anos	Tr = 5 anos	Tr = 25 anos	Tr = 50 anos	Tr = 100 anos
Bueiro 6 (B6)	142	51,41	65,19	71,57	76,15	21,72	27,55	30,24	32,18
Bueiro 7 (B7)	22	25,46	32,07	35,10	36,53	69,44	87,46	95,73	99,63
Bueiro 8 (B8)	23	25,98	32,72	35,82	37,32	67,77	85,36	93,44	97,36

6.2.2. Conversão da Chuva Pontual em Chuva Espacial e Vazões de Pico

A conversão de chuva pontual para chuva espacial, sob toda a área de interesse é feita pela equação 6.9.

$$P_A = P_0 \cdot \left(1 - w \cdot \log\left(\frac{A}{A_0}\right)\right) \quad (6.9)$$

onde:

w = parâmetro regional;

P_A = precipitação sobre toda a área, em mm;

P₀ = chuva pontual, em mm;

A = área em estudo, em km²;

A₀ = 25 km² (área base para chuva pontual).

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".

O **Quadro 6.6** mostram as chuvas espaciais sobre as bacias dos 8 (oito) bueiros sob os canais.

Quadro 6.6: Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial para as bacias hidrográficas dos bueiros

Elemento de Drenagem	Tr (anos)	Tc (min)	P _{o tc} (mm)	A (km ²)	A/A ₀	P _{A tc} (mm)
Bueiro 1 (B1)	100	80	61,62	24,80	1,00	61,52
Bueiro 2 (B2)	50	46	47,02	7,81	-0,51	47,02
Bueiro 3 (B3)	50	18	31,86	1,09	-1,36	31,86
Bueiro 4 (B4)	50	12	25,31	0,82	-1,48	25,31
Bueiro 5 (B5)	50	18	31,86	1,24	-1,31	31,86
Bueiro 6 (B6)	100	142	75,80	80,33	0,51	67,35
Bueiro 7 (B7)	50	22	35,10	1,10	-1,36	35,10
Bueiro 8 (B8)	50	23	35,82	1,43	-1,24	35,82

Adotando a Fórmula Racional para as bacias hidrográficas com áreas menores que 5,0 km² e para o restante o Método do Hidrograma Unitário (SCS), a vazão de pico ou vazões de projeto para cada um dos bueiros foi determinada como apresentado no **Quadro 6.7**.

Quadro 6.7: Vazões de pico para os bueiros

Elemento de Drenagem	Método	Tr (anos)	P _{A tc} (mm)	C	I (mm/h)	CN	S (mm)	la (mm)	Qp (m ³ /s)
Bueiro 1 (B1)	SCS	100	61,52	-	-	75	84,67	16,83	82,36
Bueiro 2 (B2)	SCS	50	47,02	-	-	75	84,67	16,83	27,39
Bueiro 3 (B3)	Racional	50	31,86	0,30	106,20	-	-	-	9,67
Bueiro 4 (B4)	Racional	50	25,31	0,30	126,55	-	-	-	8,67
Bueiro 5 (B5)	Racional	50	31,86	0,30	106,20	-	-	-	10,95
Bueiro 6 (B6)	SCS	100	67,35	-	-	75	84,67	16,53	177,55
Bueiro 7 (B7)	Racional	50	35,10	0,30	95,73	-	-	-	8,77
Bueiro 8 (B8)	Racional	50	35,82	0,30	93,44	-	-	-	11,11

De acordo com as vazões de pico calculadas, foram definidas as seguintes soluções em bueiros celulares de concreto com lâmina de 80%, além de um pontilhão, como pode ser observado no **Quadro 6.8**.

Quadro 6.8: Dimensionamentos dos bueiros

Elemento de Drenagem	Vazão de Pico (m ³ /s)	Dimensões dos elementos de Drenagem (m)	Declividade (m/m)
Bueiro 1 (B1)	82,36	Bueiro Celular Triplo de 3,0 x 3,0	0,004
Bueiro 2 (B2)	27,39	Bueiro Celular Simples de 3,0 x 3,0	0,004
Bueiro 3 (B3)	9,67	Bueiro Celular Duplo 1,5 x 1,5	0,010
Bueiro 4 (B4)	8,67	Bueiro Celular Duplo 1,5 x 1,5	0,010
Bueiro 5 (B5)	10,95	Bueiro Celular Duplo 1,5 x 1,5	0,010
Bueiro 6 (B6)	177,55	Pontilhão	
Bueiro 7 (B7)	8,77	Bueiro Celular Duplo 1,5 x 1,5	0,010
Bueiro 8 (B8)	11,11	Bueiro Celular Duplo 1,5 x 1,5	0,010

6.3. DIMENSIONAMENTO DAS VALETAS DE PROTEÇÃO DOS CANAIS

Para a drenagem das áreas próximas aos canais que não escoam diretamente para os talwegues, os quais definiram os oito bueiros calculados anteriormente, foram projetadas valetas de drenagem, em paralelo ao canal principal, que receberão as citadas afluições e direcionará esta vazão para o bueiro mais próximo. As dimensões das valetas tiveram como base uma vazão de pico relativa a uma chuva intensa com tempo de recorrência de 25 anos.

Cada trecho de valeta possui sua nomenclatura de acordo com o bueiro ao qual ela direciona o fluxo. A vazão de pico calculada para o fim de cada trecho de valeta foi determinada utilizando o método Racional (Equação 6.5) com o coeficiente de escoamento superficial (c) constante igual a 0,3. A área utilizada neste cálculo diz respeito a parcela da bacia hidrográfica definida para o bueiro que não é drenada para o seu talvegue.

A intensidade de chuva (I) calculada é equivalente a precipitação efetiva pontual já que não houve necessidade da espacialização destas, devido às dimensões das bacias serem inferiores a 25 km².

O **Quadro 6.9** apresenta as vazões de pico para cada trecho de valeta de drenagem do canal Croatá.

Quadro 6.9: Vazões de pico para os trechos de valeta de drenagem do canal Croatá.

Elemento de Drenagem		L (VALETA) (m)	A (km ²)	L (km)	ΔH (m)	Tc (h)	P _{o tc} (mm)	I (mm/h)	Qp (m ³ /s)	Qp (VALETA) (m ³ /s)
B1a	6+645N a 5+570N	1075	1,09	2,72	85	0,55	30,65	56,11	5,10	5,10
B1b	4+840N a 5+570N	730	0,29	1,04	30	0,27	27,34	101,49	2,44	2,44
B2a	4+840N a 3+625N	1215	0,73	1,86	31	0,52	37,15	71,47	4,38	4,38
B2b	2+910N a 3+625N	715	0,56	1,48	40	0,36	32,07	88,91	4,16	4,16
B3a	2+910N a 2+180N	730	0,17	0,46	36	0,10	12,79	131,19	1,91	1,91
B3b	1+740N a 2+180N	440	0,08	0,51	53	0,09	12,79	135,17	0,95	0,95
B4a	1+740N a 0+990N	750	0,19	0,94	73	0,17	20,37	120,19	1,91	1,91
B4b	0+460N a 0+990N	530	0,05	0,21	28	0,04	12,79	294,00	1,25	1,25
B5a	0+460N a 0+680S	1140	0,36	1,61	61	0,34	30,65	90,87	2,74	2,74
B5b	1+020S a 0+680S	340	0,07	0,77	30	0,19	21,78	115,22	0,65	0,65
B6a	1+020S a 1+140S	120	0,31	1,33	82	0,24	26,38	108,84	2,82	2,82
B6b	2+040S a 1+140S	900	0,83	1,70	75	0,33	30,65	92,37	6,40	6,40
B7a	2+040S a 2+300S	260	0,11	0,78	40	0,17	20,37	118,51	1,06	1,06
B7b	2+300S a 2+850S	550	0,11	0,46	37	0,10	12,79	131,44	1,20	11,03
Vazão Bueiro									8,77	
B7c	3+720S a 2+850S	850	0,39	1,08	56	0,22	24,27	110,18	3,62	3,62
B8a	3+720S a 4+520S	800	0,53	1,58	55	0,35	31,38	90,80	4,00	4,00
B8b	4+520S a 5+000	480	0,21	1,05	68	0,20	23,07	115,98	2,08	15,79
Vazão Bueiro									11,11	
B8c	5+000S a 5+100S	100	0,36	1,75	65	0,36	32,07	88,03	2,61	2,61

De acordo com as vazões de pico calculadas para cada trecho de valeta e as características do solo, foram definidas as seções das valetas de drenagem seguindo algumas premissas.

Devido às características do projeto e do solo local utilizou-se:

- Canal de drenagem no formato trapezoidal na proporção de 1 por 2;
- Velocidade máxima até 0,85 m/s para evitar erosão nos canais de terra;
- Coeficiente de Manning (n) iguais a 0,03, o que representa canais de terra com vegetação normal, fundo com cascalhos ou irregular por causa de erosões, revestidos com pedregulhos e vegetação.

A seção tipo possui a seguinte geometria:

- Altura de 1,5 metros;
- Base de 0,5 metros;
- Declividade de 0,0008 m/m.

Esta seção comporta uma velocidade e vazão máxima de 0,76 m/s e 4,01 m³/s. Satisfazendo 16 (dezesseis) das 22 (vinte e duas) valetas projetadas. O **Quadro 6.10** apresenta as características das seções das valetas de drenagem do canal Croatá.

Quadro 6.10: Vazões de pico para as valetas de drenagem do canal Croatá.

Elemento de Drenagem			L (VALETA) (m)	Altura (m)	Base (m)	Declividade (m/m)	Velocidade (m/s)	Vazão (m ³ /s)
Trecho	Valeta	Localização						
B1a	V1a	6+645N a 6+000N	645	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
	V1b	6+000N a 5+570N	570	2	0,5	0,00070	0,85	7,69
B1b	V2	4+840N a 5+570N	730	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B2a	V3a	4+840N a 4+000N	840	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
	V3b	4+000N a 3+625N	375	2	0,5	0,00070	0,85	7,69
B2b	V4a	2+910N a 3+250N	340	2	0,5	0,00070	0,85	7,69
	V4b	3+250N a 3+625N	375	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B3a	V5	2+910N a 2+180N	730	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B3b	V6	1+740N a 2+180N	440	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B4a	V7	1+740N a 0+990N	750	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B4b	V8	0+460N a 0+990N	530	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B5a	V9	0+460N a 0+680S	1140	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B5b	V10	1+020S a 0+680S	340	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B6a	V11	1+020S a 1+140S	120	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B6b	V12a	1+600S a 1+140S	460	2	0,5	0,00070	0,85	7,69
	V12b	2+040S a 1+600S	440	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B7a	V13	2+040S a 2+300S	260	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B7b	V14	2+300S a 2+850S	550	2,5	0,5	0,00050	0,83	11,43

Elemento de Drenagem			L (VALETA) (m)	Altura (m)	Base (m)	Declividade (m/m)	Velocidade (m/s)	Vazão (m ³ /s)
Trecho	Valeta	Localização						
B7c	V15	3+720S a 2+850S	850	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B8a	V16	3+720S a 4+520S	800	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
B8b	V17	4+520S a 5+000S	480	2,7	1,5	0,00043	0,85	15,90
B8c	V18	5+000S a 5+100S	100	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01

O trecho de valeta B1a localizada entre a estaca 6+645N e 5+570N possui uma vazão final de 5,10 m³/s, logo este foi dividido em dois. A valeta de montante (V1a), localizado entre as estacas 6+645N e 6+000N, utiliza a seção tipo; e a valeta mais a jusante (V1b), da estaca 6+000N a 5+570N, utiliza uma seção com as seguintes características: altura de 2,0 metros; base de 0,5 metros e declividade de 0,0007 m/m. Esta seção gera uma velocidade e vazão máxima de 0,85 m/s e 7,69 m³/s.

Situação semelhante foi observada nos trechos de valeta B2a, B2b e B6a. O primeiro está localizado entre as estacas 4+840N e 3+625N e possui uma vazão 4,38 m³/s; o segundo localizado entre 2+910N e 3+625N possui vazão de 4,16 m³/s; e o terceiro entre 2+040S e 1+140S possui vazão de 6,40 m³/s.

Os trechos de valetas acima citados foram divididos em duas valetas da seguinte forma: O B2a foi dividido em: V3a (4+840N a 4+000N) e V3b (4+000N a 3+625N), onde a primeira valeta utiliza a seção tipo e a segunda a seção h=2,0 m, b=0,5 m e S=0,0007 m/m. O B2b foi dividido em: V4a (2+910N a 3+250N) e V4b (3+250N a 3+625N), onde a primeira valeta utiliza a seção h=2,0 m, b=0,5 m e S=0,0007 m/m e a segunda valeta a seção tipo. O B6b foi dividido em: V12a (1+600S a 1+140S) e V12b (2+040S a 1+600S), onde a primeira valeta utiliza a seção tipo e a segunda a seção h=2,0 m, b=0,5 m e S=0,0007 m/m.

Pelo trecho de valeta B7b passa as vazões de 1,20 m³/s localizado entre as estacas 2+300S e 2+850S, somado a vazão do trecho a montante (B7a) com Qp=1,06 m³/s localizado entre as estacas 2+040S e 2+300S, além da vazão calculada para o Bueiro 7 equivalente a uma vazão de 8,77 m³/s. Portanto, com a soma das vazões igual a 11,03 m³/s foi definida uma valeta (V14) com uma seção de h=2,5 m, b=0,5 m e S=0,0005 m/m.

Situação semelhante foi observada no trecho de valeta B8b, no qual passam às vazões 2,08 m³/s, 2,76 m³/s e 11,11 m³/s, referentes à parcela da bacia hidrográfica do bueiro que drena diretamente para o citado trecho de valeta, a vazão que passa pelo trecho a montante (B8c), e a vazão calculada para o Bueiro 8, respectivamente. Portanto, com a soma das vazões igual a 15,95 m³/s foi definida uma valeta (V17) com uma seção de h=2,7 m, b=1,5 m e S=0,00043 m/m.

O **Quadro 6.11** apresenta o resumo do comprimento de cada seção adotada para as valetas de drenagem.

Quadro 6.11: resumo do comprimento de cada seção adotada para as valetas de drenagem do canal Croatá.

Comprimento Total (m)	Características da Seção				
	Altura (m)	Base (m)	Declividade (m/m)	Velocidade (m/s)	Vazão (m ³ /s)
9090,0	1,5	0,5	0,00080	0,76	4,01
1745,0	2	0,5	0,00070	0,85	7,69
550,0	2,5	0,5	0,00050	0,83	11,43
480,0	2,7	1,5	0,00043	0,85	15,90

As valetas de drenagem serão locadas a uma distância média 1,5 metros do fim do talude dos canais do projeto de irrigação integrantes do eixo de integração da Ibiapaba/CE.

