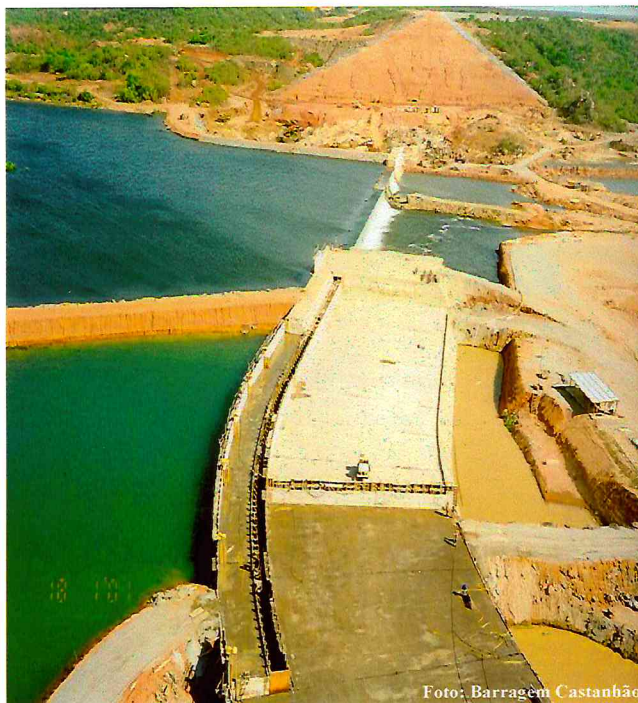


BARRAGEM FEIJÃO

**REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH/CE

**PROJETO PILOTO DE GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS
PROGERIRH - PILOTO**



**ESTUDOS DE VIABILIDADE TÉCNICA, AMBIENTAL,
ECONÔMICA E FINANCEIRA DA BARRAGEM FEIJÃO**

**FASE II - Desenvolvimento dos Estudos Básicos
e dos Anteprojetos das Barragens e Adutoras**

VOLUME 1 - ESTUDOS BÁSICOS

TOMO 1.3 - Estudos Hidrológicos

0289/02/01/01.03



ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	3
1 – INTRODUÇÃO	5
2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	8
3 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS	12
3.1 – CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA.....	13
3.2 – CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	15
3.2.1 – Parâmetros Climáticos	15
3.2.1.1 – Temperatura	15
3.2.1.2 – Umidade Relativa do Ar	16
3.2.1.3 – Velocidade e Direção do Vento	16
3.2.1.4 – Insolação	17
3.2.1.5 – Evaporação do Tanque Classe “A”	18
3.2.1.6 – Evapotranspiração	19
3.2.2 – Classificação Climática	20
3.3 – ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	21
3.3.1 – Postos Utilizados	21
3.3.2 – Pluviometria Média na Bacia	22
3.3.3 – Estudo de Chuvas Intensas.....	24
3.3.3.1 – Objetivo do Estudo	24
3.3.3.2 – Metodologia Utilizada.....	24
3.3.3.3 – Chuvas Intensas na Bacia	25
3.4 – ESTUDO DOS DEFLÚVIOS.....	26
3.4.1 – Dados Existentes	26
3.4.2 – Modelo Matemático Chuva-Deflúvio	26
3.4.2.1 – Introdução	26
3.4.2.2 – Calibração do Modelo MODHAC.....	26
3.4.3 – Volumes Mensais Afluentes	29
3.5 – ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	32
3.5.1 – Estudo da Vazão de Regularização do Açude Feijão.....	32
3.5.1.1 – Método da simulação.....	32
3.6 – ESTUDO DA CHEIA DE PROJETO	33
3.6.1 – Introdução	33
3.6.2 – Metodologia utilizada.....	33
3.6.3 – Hidrograma Unitário Triangular do SCS	33
3.6.4 – Hidrogramas das Cheias de Projeto	35
3.7 – DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO	36
3.7.1 – Amortecimento das Cheias Milenar e Decamilenar.....	37

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O Consórcio ANB/HIDROSTUDIO, no âmbito do Contrato N.º001/PROGERIRH-PILOTO/SRH/2002, firmado com a Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará e com base nas definições contidas no Edital, vem desenvolvendo os Estudos de Viabilidade Técnica, Ambiental, Econômica e Financeira da Barragem Feijão, localizada no município de Morada Nova, no Estado do Ceará.

Os referidos estudos serão apresentados através dos relatórios abaixo relacionados:

FASE I – Estudos Preliminares

VOLUME 1 – Condições Sócio-Econômicas e Ambientais da Área

Tom 1.1 – Relatório Preliminar

VOLUME 2 – Estudos de Alternativas Locacionais das Barragens e Adutoras

Tom 2.1 – Localização dos Eixos

FASE II – Desenvolvimento dos Estudos Básicos e dos Anteprojetos das Barragens e Adutoras

VOLUME 1 – Estudos Básicos e Anteprojetos

Tom 1.1 – Topografia

Tom 1.2 – Geologia e Geotecnia

Tom 1.3 – Hidrologia

Tom 1.4 – Aspectos Sócio-Econômicos

VOLUME 2 – Anteprojetos

Tom 2.1 – Relatório Geral

Tom 2.2 – Desenhos e Plantas

FASE III – Estudos de Viabilidade Ambiental (EVA)

VOLUME 1 – Estudos de Viabilidade Ambiental (EVA)

Tom 1.1 – Estudos Básicos e Diagnósticos Ambientais

FASE IV – Avaliação Econômica Financeira dos Projetos

VOLUME 1 – Viabilidade dos Projetos

Tom 1.1 – Avaliação Técnico-Econômica-Financeira e Ambiental

O presente documento refere-se ao TOMO 1.3 – Hidrologia (FASE II – Desenvolvimento dos Estudos Básicos e dos Anteprojetos das Barragens e Adutoras, VOLUME 1 – Estudos Básicos), dos Estudos de Viabilidade Técnica, Ambiental, Econômica e Financeira da Barragem Feijão, localizada no município de Morada Nova, no Estado do Ceará.

1 – INTRODUÇÃO

1 – INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem sido uma das preocupações máximas do Governo, dotar o Estado de uma infraestrutura hídrica capaz de atender as demandas das populações, quanto ao abastecimento de água. No último decênio muito tem sido realizado no setor. Além da criação de todo um aparelhamento institucional, vem dedicando-se o Governo na execução de obras, através de programa específico, tais como o PROURB e o PROGERIRH que visam tanto fortalecer o sistema comunitário municipal, como equacionar e resolver os problemas de abastecimento de água das populações.

Este trabalho trata dos Estudos de Viabilidade Técnica, Ambiental, Econômica e Financeira da Barragem Feijão, localizada no município de Morada Nova, no Estado do Ceará.

O Estado do Ceará tem desenvolvido um extenso programa de recursos hídricos que inclui, desde a mobilização de água através da perfuração de poços ou em reservatórios, até sua distribuição às populações, através de adutoras, após tratamento para torná-la potável. O armazenamento de água para as populações e outros usos no Estado, historicamente, é feito através de mananciais artificiais constituídos por barramentos de rios, formando os açudes. No passado a construção destes reservatórios, tinha sempre um caráter emergencial, isto é, eles eram implantados sempre que se instalava uma seca mais prolongada. Nos anos de pluviometria normal, praticamente não se exercia essa atividade de modo continuado. Os açudes públicos eram construídos em locais muitas vezes não estratégicos, face à localização dos maiores contingentes de usuários, deixando-se de levar em conta outros fatores importantes, os quais só tiveram maior destaque com criação, o desenvolvimento e o debate dos aspectos ambientais.

Com o crescimento mais acelerado da população a partir da década de 1940, e sua concentração nas cidades, iniciada nos anos 60, o problema do abastecimento de água, no Estado, passou a ser encarado de modo a atender a requisitos mais técnicos tais como a localização dos açudes relativamente às cidades e às aglomerações rurais. Também tiveram um grande incremento os usos múltiplos da água, a qual passou a ser encarada como um bem econômico, sendo mais largamente utilizada, notadamente na agricultura irrigada, pecuária, piscicultura e nas atividades de lazer. Este aumento de consumo aliado às irregularidades pluviométricas, induziu o governo do Ceará, a partir do final da década dos anos 80, instituir programas que tratam a questão hídrica de modo racional, com continuidade e procurando sempre conferir um caráter de sustentabilidade as iniciativas do setor, podendo assim assegurar um desenvolvimento mais equilibrado do Estado.

Diante dessa realidade, a partir de 1987 o Governo Estadual vem institucionalizando a implementação de políticas públicas destinadas a encaminhar a questão da água. Assim, foram criados a partir da Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH, a Superintendência de Obras Hidráulicas – SOHIDRA e a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH; foram também elaborados o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH e o Fundo Estadual de Recursos Hídricos – FUNORH.

O estudo objeto deste trabalho, se insere nas ações que o governo estadual está implantando em todo o território cearense, o qual consiste na construção de novos barramentos permanentes, de portes médios, e de adutoras que conduzam a água até as cidades, de modo a dotar os centros urbanos do interior de fontes de água seguras, que garantam o abastecimento nos períodos secos.

Atualmente, as ações empreendidas pelo Governo do Estado, no tocante a construção de obras hídricas, devem satisfazer a critérios técnicos, ambientais e sócio-econômicos, antes de terem garantido recursos para suas implantações.

O estudo objeto deste trabalho é uma das etapas deste processo de seleção de locais para obras hídricas e da comprovação de suas viabilidades técnica, financeira e econômica, além da avaliação das condições ambientais que advirão com a concretização dessas obras.

Nesse trabalho, buscamos estudar mais detalhadamente, as alternativas de atendimento às demandas de água junto às cidades e aglomerados urbanos que se situam nas áreas de influência direta destes reservatórios, e subsidiariamente atender as necessidades de promover o desenvolvimento de atividades econômicas, através da irrigação de áreas estrategicamente situadas em relação aos açudes, da piscicultura intensiva e promoção de atividades de lazer.

Apresentamos, em seguida, uma caracterização da região em estudo, a nível municipal e a nível local, onde os dados apresentados refletem a realidade atual, uma vez que eles foram colhidos recentemente, durante viagem de inspeção aos municípios e povoados situados na área de influência e nos próprios locais dos eixos barráveis.

2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

2 – LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O local escolhido para o estudo da Barragem Feijão localiza-se no riacho de mesmo nome, afluente pela margem direita do rio Pirangi, no município de Morada Nova, Estado do Ceará.

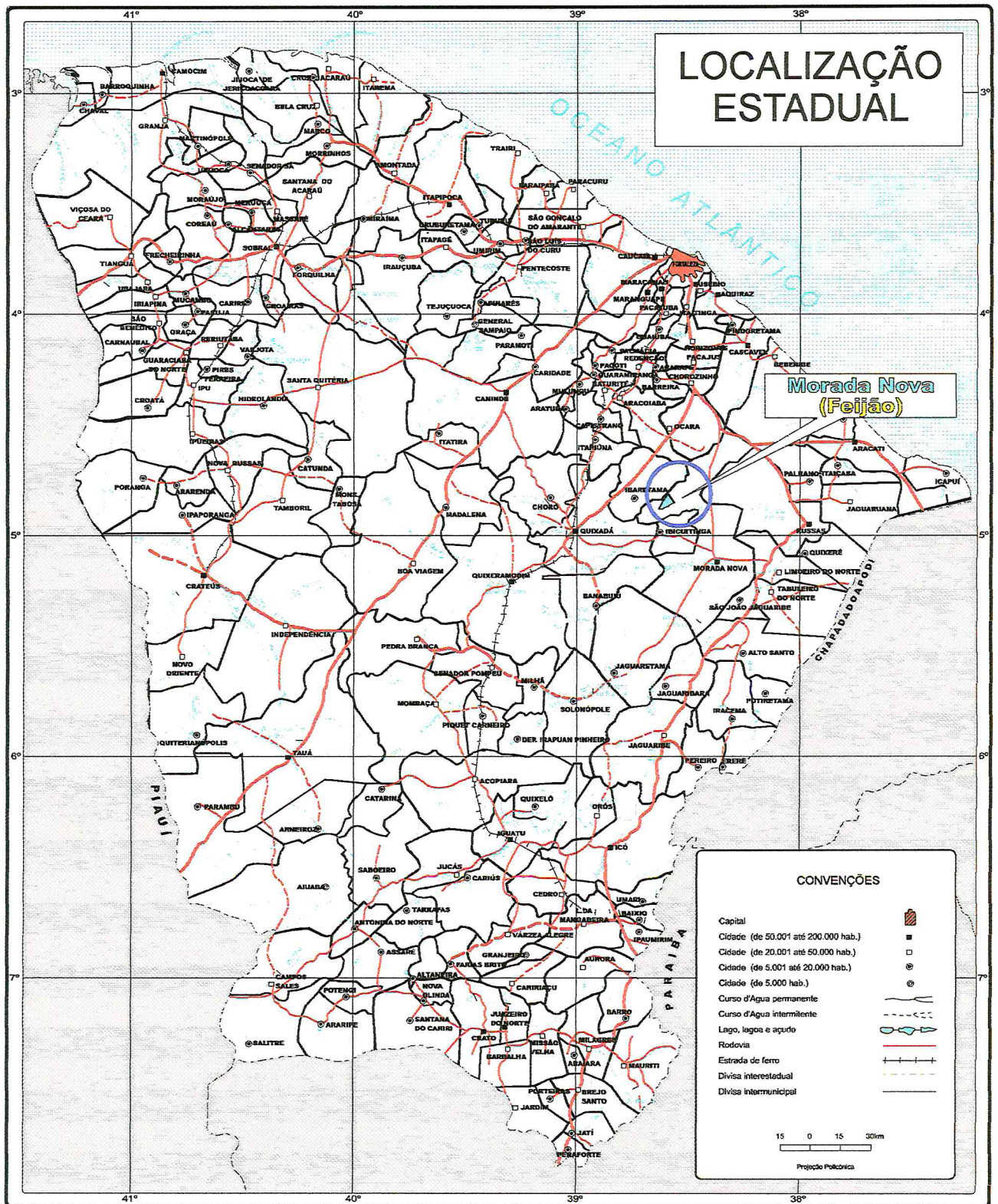
O município de Morada Nova localiza-se na região Centro Leste do Estado do Ceará com latitude 5° 06' 24" S e longitude 38° 22' 21" W, ocupa uma área de 2796,6 Km², com altitude média da sede em torno de 89 m acima do nível do mar. Limita-se ao Norte com Russas, Beberibe, Cascavel e Ocara, ao Sul com Jaguaribama, Jaguaribara, Alto Santo e São João do Jaguaribe, ao Leste com São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte e Russas e a Oeste com Ocara, Ibaretama, Quixadá, Ibicuitinga e Banabuiú.

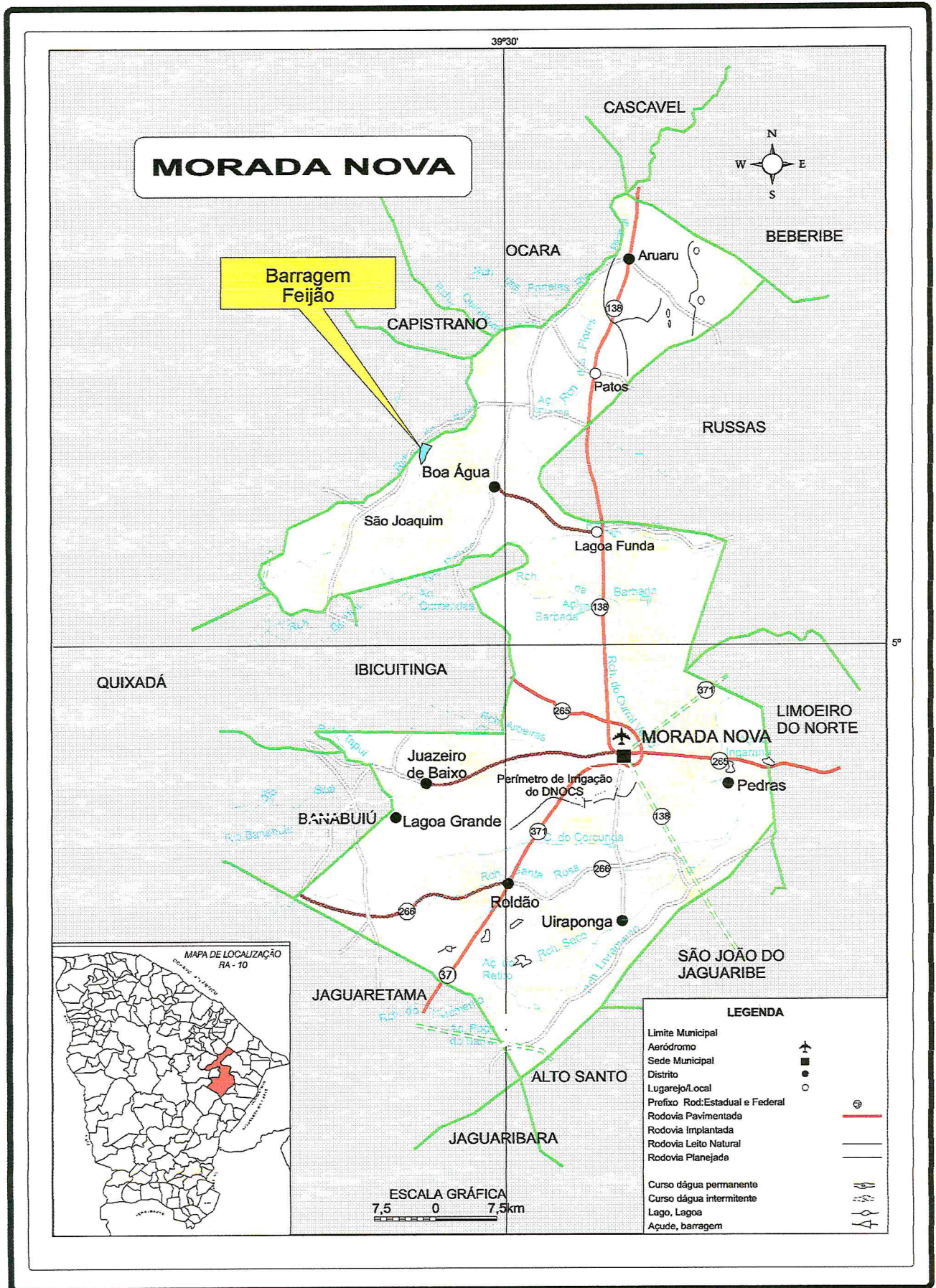
O acesso à sede do município de Morada Nova, a partir de Fortaleza, se faz pela rodovia federal BR-116 e pela rodovia estadual CE-138, percorrendo-se 144 km.

Para o acesso ao eixo selecionado a partir da sede do município toma-se a rodovia estadual CE-138, no sentido Norte, trafega-se por 30 km, até uma localidade conhecida como Lagoa Funda, onde toma-se no sentido Oeste uma estrada de terra que alcança a localidade de Boa-água após 15 km, prosseguindo-se no acesso a Nova Vida trafega-se por mais 15 km e alcança-se o sítio selecionado, próximo da propriedade do Sr. Genival.

O percurso entre a sede municipal de Morada Nova e o local do barramento é, portanto, cerca de 60 km.

As figuras apresentadas a seguir, mostram o mapa de localização e acessos no contexto estadual e o mapa do município de Morada Nova.





3 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

3 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

3.1 – CARACTERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA

Utilizando as Cartas Topográficas da SUDENE, na escala 1:100.000, obteve-se, para a bacia hidrográfica do Açude Feijão, as seguintes características fisiográficas principais:

- Localização do exutório no Riacho do Feijão:
 - Latitude = 04°48'28" S (9.468.568,0 m N)
 - Longitude = 38°35'08" WGr (545.964,0 m E)
- Área de Drenagem: 173,633 km²
- Perímetro da Bacia: 69,064 km
- Altitude Média da Bacia: 144,7 m
- Altitude Mediana da Bacia: 145,0 m
- Declividade Média da Bacia Hidrográfica: 0,0702 m/m
- Coeficiente de Compacidade: 1,48
- Coeficiente de Forma: 0,24
- Comprimento do Curso D'Água Principal: 26,672 km
- Declividade Média do Rio Principal: 0,00144 m/m
- Ordem da Bacia, segundo o Método de Horton-Strahler, na escala de 1:100.000: 3^a ordem

Na Figura 3.1 a seguir, é apresentada a bacia hidrográfica do Açude Feijão

3.2 – CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

3.2.1 – Parâmetros Climáticos

Na bacia do Açude Feijão não existe estação meteorológica, portanto seu comportamento climático será representado, com razoável aproximação, pela estação meteorológica de Morada Nova, em Morada Nova -CE.

No presente estudo serão utilizados os parâmetros meteorológicos obtidos junto ao PERH-CE¹.

3.2.1.1 – Temperatura

A tabela 3.2.1.1 e a figura 3.2.1.1 apresentam os valores médios das temperaturas médias, mínimas e máximas.

Tabela 3.2.1.1 - Temperatura Média, Mínima Média, Máxima Média, na Estação Meteorológica de Morada Nova.

TEMPERATURA (°C)	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Máxima Média	35,2	33,7	32,7	32,1	32,2	31,9	32,4	33,8	35,1	35,8	35,8	35,5	33,9
Média	28,1	27,3	26,8	26,8	26,8	26,1	26,1	26,6	27,4	27,7	28	28,1	27,2
Mínima Média	23,1	22,9	23,0	22,9	22,4	21,1	20,5	20,4	21,4	21,9	22,4	22,7	22,1

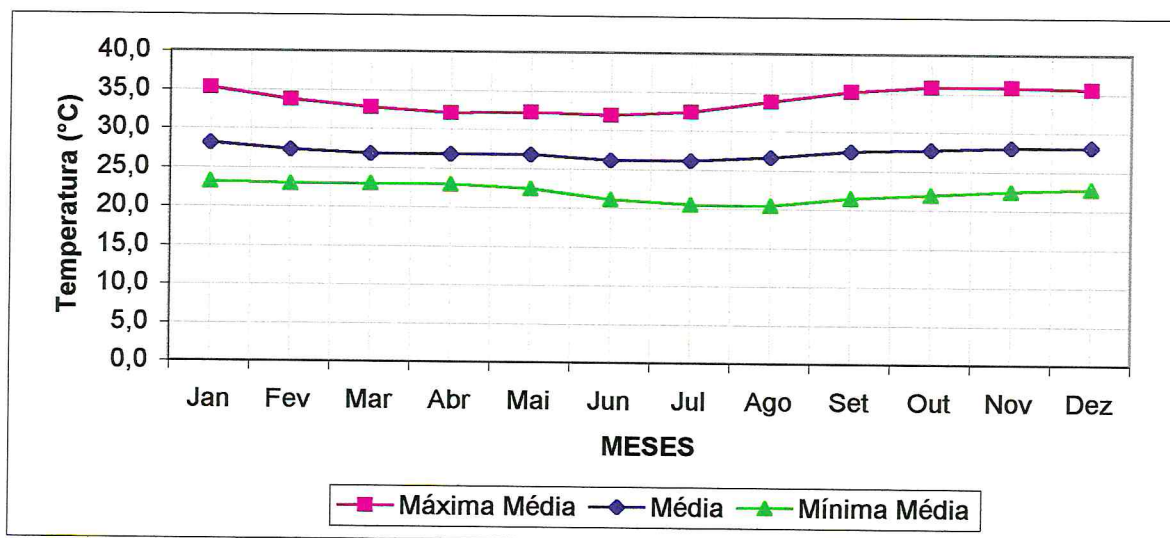


Figura 3.2.1.1 - Temperaturas média, mínima média e máxima média do ar para a bacia do Açude Feijão

¹ CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. Plano Estadual dos Recursos Hídricos. Fortaleza, 1992.4v.v.2:Estudos de Base I.

3.2.1.2 – Umidade Relativa do Ar

Na Tabela 3.2.1.2 e na Figura 3.2.1.2, observa-se a umidade do ar na estação Morada Nova.

Tabela 3.2.1.2 - Umidade Relativa do Ar (%)

ESTAÇÃO	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Morada Nova	64	71	77	79	76	73	67	63	60	60	60	62	68

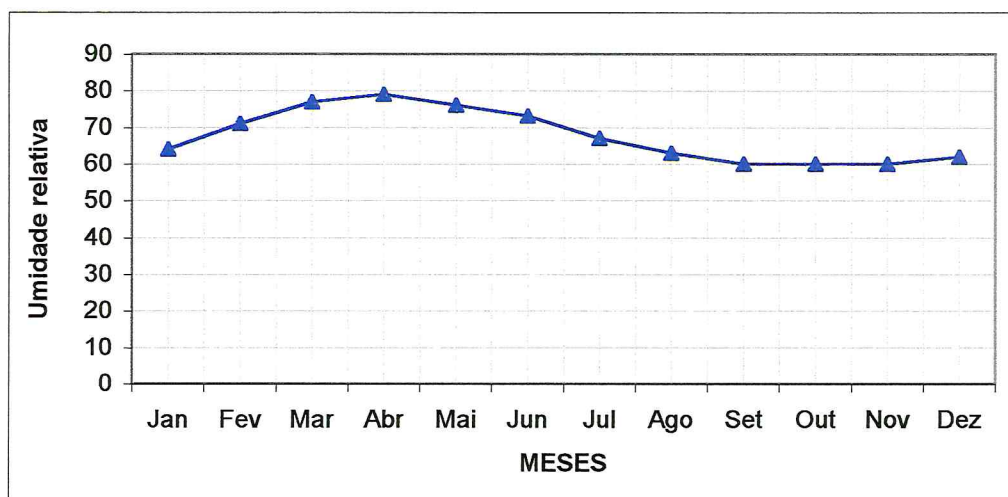


Figura 3.2.1.2 - Umidade relativa média do ar na bacia do Açude Feijão

3.2.1.3 – Velocidade e Direção do Vento

A velocidade do vento à altura de 2 m, apresentados na Tabela 3.2.1.3 e na Figura 3.2.1.3, mostram que na bacia estudada, aqui representada pelo posto em Morada Nova, a velocidade média do vento tem seu mínimo de 2,2 m/s em abril e seu máximo de 4,1 m/s em novembro, com média anual de 3,2 m/s.

Tabela 3.2.1.3 - Velocidade Média do Vento (m/s)

ESTAÇÃO	MESES												MÉDIA ANUAL
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Morada Nova	3,5	2,8	2,4	2,2	2,4	2,7	3,0	3,5	3,9	4,0	4,1	4,0	3,2

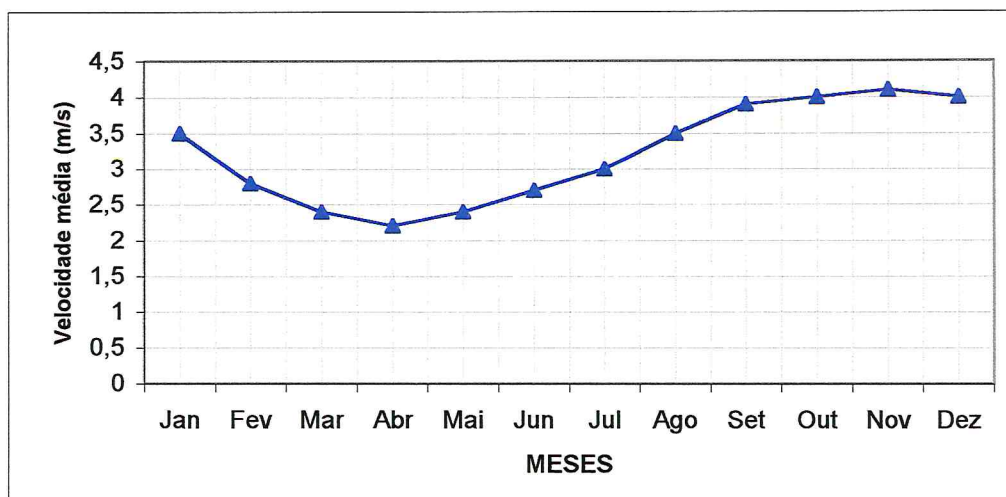


Figura 3.2.1.3 - Velocidade Média do Vento na bacia do Açude Feijão

A direção média predominante do ar, conforme constata-se na Tabela 3.2.1.3a é de E-Ne.

Tabela 3.2.1.3a - Direção Média do Ar na Bacia do Açude Feijão

ESTAÇÃO	MESES												MÉDIA ANUAL
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Guaramiranga	E-Ne	E-Ne	E-Ne	Se-E	E-Ne	E-Ne	E-Ne	E-Ne	E-Ne	E-Ne	E-Ne	E-Ne	E-Ne

3.2.1.4 – Insolação

Observa-se na Tabela 3.2.1.4 e na Figura 3.2.1.4, que a insolação na bacia, aqui representada pela estação de Morada Nova, é bastante elevada, chegando a 2920 horas de brilho solar por ano.

Tabela 3.2.1.4 - Insolação (Horas)

Estação	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Morada Nova	243	192	194	206	233	242	264	264	270	286	267	259	2920,00

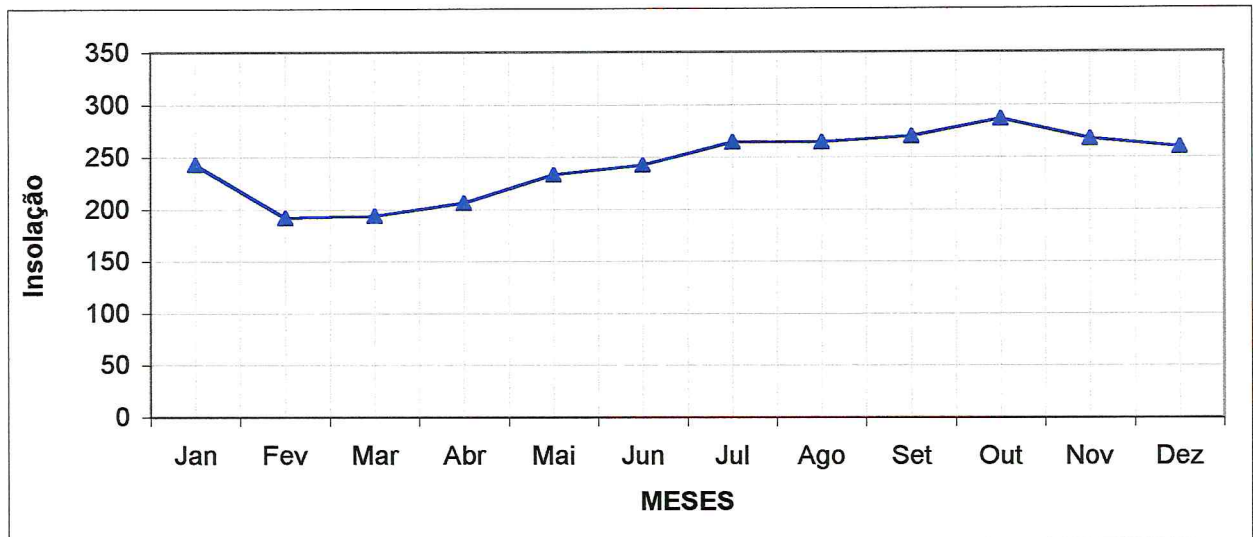


Figura 3.2.1.4 - Insolação média na bacia do Açude Feijão

3.2.1.5 – Evaporação do Tanque Classe “A”

O Tanque Classe “A” mede a evaporação, porquanto exposto ao vento e à radiação solar. Esse aparelho, contudo, não fornece a evaporação real de lagos e açudes, medindo apenas o potencial evaporativo dos mesmos. No Estado do Ceará usa-se o coeficiente igual a 0,80 para estimar a evaporação dos açudes, a partir da evaporação do Tanque Classe “A” - conhecido como Coeficiente do Tanque Classe “A”.

Através da Tabela 3.2.1.5 e da Figura 3.2.1.5 observa-se que a evaporação média na bacia, tomando-se como base o posto de Morada Nova, atinge seu máximo em setembro com 305,0 mm e seu mínimo em abril com 105,0 mm, tendo uma evaporação anual de 2476,0 mm.

Tabela 3.2.1.5 - Evaporação Tanque Classe "A" (mm)

Estação	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Morada Nova	224	177	122	105	122	150	194	261	305	281	272	263	2476

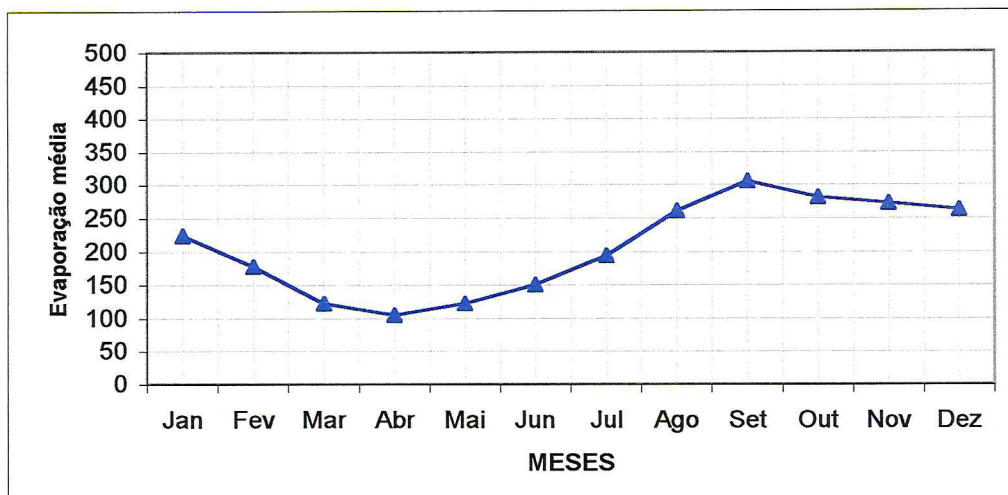


Figura 3.2.1.5 - Evaporação média do Tanque Classe “A” na bacia do Açude Feijão

3.2.1.6 – Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial pode ser avaliada pelos métodos de Hargreaves e de Penman - Monteith, sendo este o mais preciso, enquanto que o outro é o mais utilizado, pois foi desenvolvido no Nordeste brasileiro e é de mais fácil determinação, uma vez que só depende de dois parâmetros meteorológicos: temperatura e umidade relativa média do ar.

Na tabela 3.2.1.6 e na figura 3.2.1.6 observa-se a evapotranspiração potencial da estação de Morada Nova.

Tabela 3.2.1.6 - Evapotranspiração Potencial em Morada Nova (mm)

Método	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Hargreaves	191,6	152,3	143,7	123,0	123,5	118,0	138,0	161,4	180,9	198,1	195,3	196,5	1922,3
Penman -Monteith	139,9	104,8	100,1	88,0	91,2	92,5	109,5	128,3	143,2	154,1	152,3	150,8	1454,7

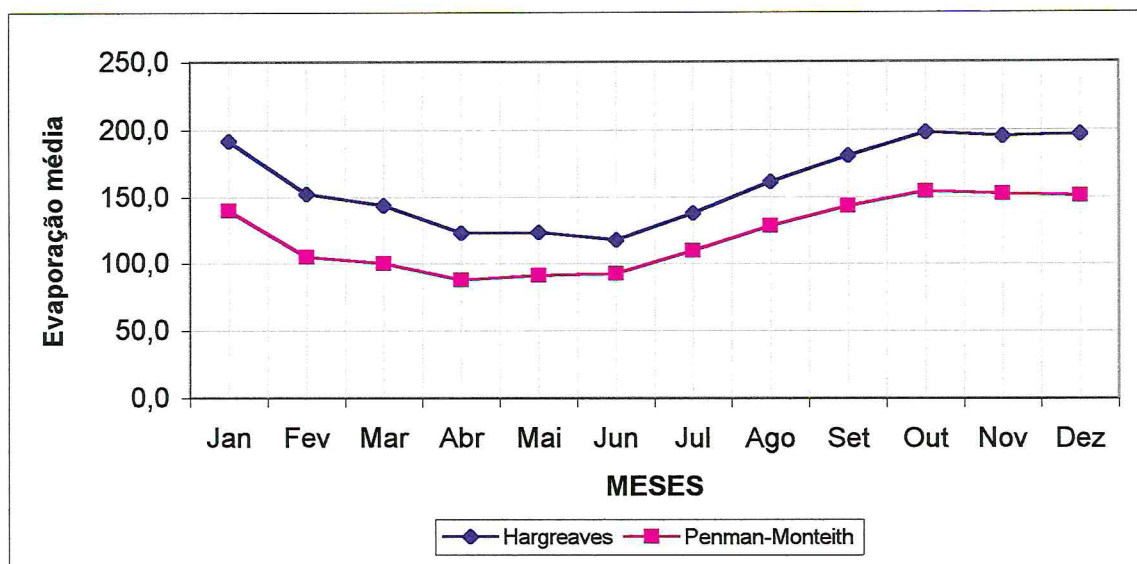


Figura 3.2.1.6 - Evapotranspiração potencial média de Hargreaves e de Penman - Monteith, para a bacia do Açude Feijão.

3.2.2 – Classificação Climática

A classificação climática, segundo a metodologia de Thornthwaite, baseia-se nos seguintes índices:

Índice de Umidade, I_u (%), dado pela expressão:

$$I_u = 100 \times \text{EXC}/\text{ETP}, \quad \text{onde}$$

EXC = excesso hídrico do ano

ETP = evapotranspiração potencial

Índice de Aridez, I_a (%), dado pela expressão:

$$I_a = 100 \times \text{DEF}/\text{ETP}, \quad \text{onde}$$

DEF = déficit hídrico do ano

ETP = evapotranspiração potencial

Índice de Eficiência Térmica, I_{et} (mm), dado pela evapotranspiração anual média.

Índice Efetivo de Umidade, I_{eu} (%), dado pela expressão:

$$I_{eu} = I_u - 0,6 \times I_a$$

Para a bacia do Açude Feijão, utilizando os dados do PERH-CE, obteve-se os seguintes valores para os índices descritos no parágrafo anterior:

ÍNDICES E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICOS SEGUNDO THORNTHWAITE

Estação Meteorológica	Índices Climáticos				Classificação Climática de Thornthwaite
	I _{eu} (%)	I _a (%)	I _{et} (mm)	I _u (%)	
Morada Nova	-35,0	58,4	1714,0	0,0	DdA'a'

Conforme a classificação climática de Thornthwaite, a bacia possui clima semi-árido, com pequeno ou nenhum excesso hídrico, megatérmico, apresentando pequena variação da evapotranspiração potencial ao longo do ano.

3.3 – ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

3.3.1 – Postos Utilizados

Uma análise detalhada das informações pluviométricas existentes resultou, para a bacia hidrográfica do açude Feijão, nos postos pluviométricos apresentados na Tabela 3.3.1, onde são mostradas suas principais características.

Tabela 3.3.1 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS

Nº de ordem	CÓDIGO ANA	CÓDIGO SUDENE	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO	COORDENADAS		ALTITUDE (m)	DATA DE INSTALAÇÃO
					LATITUDE	LONGITUDE		
1	438014	2892679	BOA ÁGUA	MORADA NOVA	4° 50'	38° 37'	120	1/1962
2	438017	2892307	CAIO PRADO	ITAPIUNA	4° 39'	38° 58'	111	1/1912
3	438023	2892089	CURUPIRA	ARACOIABA	4° 32'	38° 34'	120	12/1961
4	438024	2892605	DANIEL DE QUEIROZ (MUXIOPO)	QUIXADÁ	4° 49'	38° 59'	185	4/1919
5	438025	2892939	FAZENDA SANTA MARIA	QUIXADÁ	4° 59'	38° 49'	150	1/1934
6	438030	2892972	IBICUITINGA	MORADA NOVA	4° 58'	38° 39'	230	2/1961
7	438032	2892111	ITAPIUNA	ITAPIUNA	4° 33'	38° 57'	130	12/1961
8	438035	2892531	OLHO D'ÁGUA	QUIXADÁ	4° 45'	38° 51'	150	1/1932
9	438041	2892044	PASSAGEM FUNDA	ARACOIABA	4° 30'	38° 47'	90	12/1961
10	438044	2892012	RIACHÃO	CAPISTRANO	4° 31'	38° 57'	130	1/1912
11	438045	2892918	SALVA VIDAS	QUIXADÁ	4° 58'	38° 55'	150	1/1930
12	438046	2892811	SÃO FRANCISCO	QUIXADÁ	4° 54'	38° 57'	160	1/1962
13	438048	2892926	VARZEA DA ONÇA	QUIXADÁ	4° 59'	38° 53'	150	1/1962
14	538011	3802368	SITIA	QUIXADÁ	5° 10'	38° 40'	80	1/1934
15	538018	3802328	BOQUEIRÃO PEDRAS BRANCAS	QUIXADÁ	5° 10'	38° 52'	200	6/1920

Os dados dos postos pluviométricos existentes foram obtidos junto ao PERH-CE e, portanto, já devidamente consistidos e homogeneizados.

3.3.2 – Pluviometria Média na Bacia

O estudo da disponibilidade dos dados diários dos postos selecionados constatou a necessidade da utilização de uma razoável combinação de postos pluviométricos, a fim de tornar possível a determinação da chuva média diária na bacia do açude Feijão, para o período de 1912 a 1988.

A combinação de postos é imprescindível, porquanto o preenchimento de dados de chuva inexistentes a nível diário, através de outros postos pluviométricos não é viável, tanto face sua imensa variabilidade, como também às grandes distâncias entre os postos.

A chuva média diária na bacia, para o caso das combinações de postos utilizados, foi obtida através da utilização do Método dos Polígonos de Thiessen.

Para os períodos, nos quais só há um posto pluviométrico disponível, obteve-se a chuva média diária através da expressão empírica:

$$P_{\text{bacia}} = P_o (1 - w \cdot \log(A_{\text{bacia}}/A_o)),$$

onde:

P_{bacia} - chuva média na bacia hidrográfica, em mm;

P_o - chuva no ponto (posto pluviométrico), em mm;

A_{bacia} - área na bacia hidrográfica, em Km²;

A_o - área de influência do ponto, considerada igual a 25 Km²;

w - coeficiente empírico. Adotou-se o valor 0,16, obtido por MENESES FILHO²²

Assim sendo, determinou-se a chuva diária na bacia do açude Feijão, para o período de 1912 a 1988, perfazendo, portanto, um total de 77 anos de dados.

Na tabela 3.3.2 é apresentada a precipitação média na bacia, a nível mensal e anual, como também seu resumo estatístico.

Tabela 3.3.2 - PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL E ANUAL DA BACIA DO AÇUDE FEIJÃO E RESPECTIVO RESUMO ESTATÍSTICO

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1912	81,6	192,7	226,2	283,3	147,3	19,6	0,0	7,7	0,0	0,0	7,1	1,7	967,2
1913	28,1	197,9	251,2	223,9	112,2	84,6	41,8	3,6	5,0	4,4	4,8	17,8	975,3
1914	264,4	99,5	219,6	99,0	128,1	120,4	33,5	10,7	0,0	0,4	3,1	0,6	979,3
1915	41,1	4,2	42,4	37,7	60,3	4,3	0,5	0,9	0,1	0,0	0,6	41,6	233,7
1916	57,6	27,0	126,8	170,7	86,3	98,8	0,0	0,0	0,0	0,0	31,0	84,2	682,4
1917	192,6	398,9	301,6	221,4	192,3	72,9	12,4	0,0	10,7	0,0	16,6	16,2	1435,6
1918	55,6	197,4	119,6	128,6	53,5	56,0	6,0	48,9	23,4	1,0	0,0	24,5	714,5
1919	48,8	34,2	18,1	9,6	28,8	4,3	2,1	5,5	3,5	0,4	0,0	7,7	163,0
1920	3,7	14,9	242,2	194,9	139,0	50,2	2,6	0,0	0,0	0,0	3,1	30,9	681,5
1921	56,7	205,1	327,4	176,5	196,1	41,1	34,4	0,0	0,0	0,0	15,2	0,0	1052,5
1922	3,7	64,7	128,6	416,5	211,8	65,5	64,1	7,4	0,0	0,0	58,8	0,0	1021,1

² Meneses Filho, Anísio de Sousa. Estudo da Distribuição Espacial de Chuvas Intensas no Estado do Ceará. Fortaleza-Ce: 79p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Ceará, 1991.

Tabela 3.3.2 - PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL E ANUAL DA BACIA DO AÇUDE FEIJÃO E RESPECTIVO RESUMO ESTATÍSTICO

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1923	91,6	184,2	137,9	166,8	28,0	38,9	54,7	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	707,9
1924	58,7	265,3	399,3	458,5	295,9	113,5	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	10,9	1609,3
1925	95,6	173,8	278,3	242,2	44,4	2,0	1,4	0,0	4,6	0,1	0,0	9,5	851,9
1926	31,0	99,1	263,5	132,0	143,0	20,5	12,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	702,0
1927	32,2	262,7	139,7	164,5	60,7	22,5	43,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	727,1
1928	69,0	14,1	96,4	142,7	61,4	74,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	3,5	462,9
1929	168,5	277,0	281,3	179,3	90,6	20,5	61,6	2,8	0,0	4,1	10,4	34,8	1130,9
1930	89,1	53,6	122,7	77,3	22,1	39,2	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	11,8	424,8
1931	78,5	181,5	99,6	127,8	33,7	18,5	0,0	11,3	20,0	1,7	0,0	6,9	579,5
1932	84,7	38,3	55,3	15,5	1,2	55,0	9,8	0,0	89,5	0,0	10,1	10,6	370,0
1933	135,2	139,2	291,7	281,0	7,9	0,0	1,3	0,0	0,0	0,9	0,9	23,0	881,1
1934	31,2	191,8	305,5	96,4	246,3	30,6	3,0	0,0	0,0	0,0	4,0	88,6	997,4
1935	33,2	173,1	205,1	220,7	127,2	99,4	23,6	16,8	0,0	0,7	2,7	2,4	904,9
1936	37,2	234,0	70,4	64,5	82,8	77,6	2,7	0,0	0,5	0,0	0,4	8,3	578,4
1937	3,5	233,8	117,1	130,4	184,2	52,5	19,4	1,4	0,0	7,7	7,5	7,7	765,2
1938	56,5	18,2	310,1	144,8	91,7	24,2	23,2	0,2	3,7	6,4	7,3	4,7	691,0
1939	24,0	201,2	181,2	73,2	30,7	14,2	8,2	21,5	5,1	10,5	25,3	9,7	604,8
1940	85,7	93,9	308,3	289,8	169,7	83,4	60,9	2,7	1,2	3,6	0,8	25,2	1125,2
1941	7,2	76,6	149,7	146,8	27,5	40,7	9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	465,3
1942	12,9	131,0	54,9	63,3	38,3	8,9	7,0	0,0	0,0	6,9	10,8	43,9	377,9
1943	128,8	69,2	133,9	74,5	44,5	19,9	42,5	0,0	0,0	0,0	41,7	18,3	573,3
1944	74,9	25,8	199,4	166,9	159,9	12,1	14,4	0,0	3,5	2,7	0,3	106,1	766,0
1945	18,9	315,7	176,2	153,0	154,0	105,7	70,3	0,0	0,0	4,5	2,1	7,2	1007,6
1946	134,3	103,5	195,5	130,3	66,0	15,9	2,0	1,3	0,0	0,0	4,8	56,1	709,7
1947	36,2	47,4	181,2	179,4	75,7	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	119,0	0,0	660,9
1948	23,2	29,7	211,4	107,1	114,6	71,4	18,1	2,7	0,0	5,8	0,1	16,2	600,3
1949	34,2	69,0	204,5	186,7	79,8	9,6	4,2	10,2	4,2	0,3	76,3	0,3	679,3
1950	44,4	67,2	301,2	284,4	96,0	1,6	3,3	0,0	15,8	12,4	0,3	24,6	851,2
1951	50,7	72,3	28,3	230,0	29,6	158,8	5,2	0,0	0,0	3,8	4,1	69,6	652,4
1952	19,9	41,4	112,5	149,7	145,9	6,8	0,0	0,0	0,3	0,0	7,2	37,2	520,9
1953	11,5	32,5	117,5	124,8	41,6	53,4	6,0	0,5	0,7	0,0	5,3	39,7	433,5
1954	20,6	118,4	118,3	57,3	185,9	4,9	0,6	0,0	0,0	0,0	3,2	3,7	512,9
1955	123,6	65,6	209,4	170,7	173,2	12,9	6,6	6,8	0,0	0,2	1,0	23,5	793,5
1956	1,0	235,6	166,6	192,8	6,5	13,0	12,5	4,7	3,4	33,0	1,8	27,2	698,1
1957	125,5	5,2	221,0	208,4	29,9	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	604,4
1958	16,4	57,6	96,7	20,4	46,4	4,9	8,1	6,0	0,0	0,0	0,5	15,4	272,4
1959	112,1	266,1	97,8	72,6	112,1	0,0	15,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	676,0
1960	22,9	18,1	397,9	112,8	93,8	30,0	25,5	0,9	2,0	0,9	0,0	0,0	704,8
1961	99,0	555,8	407,6	341,4	102,2	11,9	0,0	0,0	0,0	15,5	0,0	0,0	1533,4
1962	54,5	119,7	252,8	147,3	100,1	23,3	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	66,8	772,1
1963	120,4	153,8	374,8	225,6	59,9	8,1	0,0	0,0	0,0	10,0	3,0	51,7	1007,3
1964	280,6	244,3	382,6	356,8	283,6	51,8	22,3	35,5	7,3	6,7	0,6	0,0	1672,1
1965	104,8	35,5	229,2	335,1	139,4	190,7	15,9	0,0	0,0	5,7	0,0	3,5	1059,8
1966	3,1	91,8	57,7	115,1	150,2	46,1	54,5	1,9	1,4	0,0	0,6	1,0	523,4
1967	43,6	218,6	255,3	247,8	129,0	46,1	14,8	8,8	7,4	0,0	0,0	18,5	989,9
1968	77,1	64,4	251,7	80,2	154,7	8,4	22,2	6,0	0,0	3,9	0,0	12,8	681,4
1969	82,9	83,3	194,4	188,7	80,0	104,6	67,7	20,9	0,0	0,0	0,1	0,0	822,6

Tabela 3.3.2 - PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL E ANUAL DA BACIA DO AÇUDE FEIJÃO E RESPECTIVO RESUMO ESTATÍSTICO

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1970	61,4	24,5	191,1	105,1	4,2	28,9	8,3	1,4	2,0	4,5	19,2	14,2	464,8
1971	70,7	98,6	244,7	236,2	129,2	76,8	39,9	17,5	5,1	40,5	20,4	3,3	982,9
1972	17,4	79,8	123,2	120,1	62,8	86,1	15,7	0,0	2,5	0,7	0,0	53,1	561,4
1973	164,9	60,7	193,2	286,6	129,5	99,8	13,1	7,9	0,6	0,0	0,0	3,2	959,5
1974	355,3	137,0	269,3	296,9	291,4	107,2	22,5	0,0	21,7	6,7	17,8	64,4	1590,2
1975	29,6	73,8	214,1	111,2	238,6	98,3	68,6	1,4	0,0	6,3	0,0	16,9	858,8
1976	30,5	138,6	119,0	80,8	14,6	9,8	13,4	6,1	0,0	20,5	3,1	34,4	470,8
1977	140,0	138,7	185,1	168,5	119,5	140,7	64,7	0,7	0,0	0,6	2,1	24,3	984,9
1978	5,2	101,8	100,2	104,5	136,0	43,5	44,5	0,4	0,0	13,4	17,9	55,1	622,5
1979	28,0	88,6	79,0	60,8	99,1	25,5	10,5	3,7	2,7	0,5	0,0	11,2	409,6
1980	31,5	172,4	222,2	49,2	15,0	23,6	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	5,7	524,7
1981	15,5	38,2	339,9	168,2	25,5	14,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	49,9	652,2
1982	34,9	85,6	142,4	159,8	89,9	36,9	10,9	11,6	0,5	1,8	24,2	10,4	608,9
1983	8,1	169,3	126,1	70,0	35,3	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	414,3
1984	35,8	89,1	142,6	324,9	229,3	30,0	49,7	31,4	1,5	1,4	0,0	1,1	936,8
1985	180,3	321,7	304,0	324,5	226,2	193,2	146,7	12,6	0,0	0,0	2,5	85,6	1797,3
1986	82,8	198,0	306,3	396,3	165,3	105,1	16,5	12,8	2,6	0,0	0,4	7,9	1294,0
1987	9,4	74,4	333,2	91,4	13,9	92,2	4,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	619,5
1988	56,2	52,1	159,9	260,8	273,7	75,6	19,4	0,0	12,5	0,5	0,0	73,4	984,1
MÉDIA	68,6	127,7	198,0	172,1	107,7	49,1	19,9	4,7	3,4	3,4	8,0	21,6	784,2
DESV.PD	66,2	100,0	95,4	97,8	75,4	45,0	25,2	8,7	11,1	6,9	18,2	25,3	331,6
C. VAR.	1,0	0,8	0,5	0,6	0,7	0,9	1,3	1,9	3,2	2,0	2,3	1,2	0,4

3.3.3 – Estudo de Chuvas Intensas

3.3.3.1 – Objetivo do Estudo

O presente estudo objetiva proporcionar elementos para a seleção da cheia de projeto com vista ao dimensionamento do sangradouro do Açude Feijão. Para tanto estudou-se o regime de chuvas intensas na bacia hidrográfica do referido açude.

3.3.3.2 – Metodologia Utilizada

Na bacia estudada há uma única estação meteorológica - Estação Morada Nova - todavia não foi possível a obtenção dos pluviogramas junto ao INMET, porquanto o referido órgão não soube informar o seu destino.

Face à inexistência de dados pluviográficos disponíveis na bacia estudada foi aplicada a metodologia do Engenheiro TABORGA - TORRICO³, no cálculo das chuvas intensas na bacia.

A metodologia aplicada baseia-se na utilização do método da desagregação regional. Essa metodologia consta dos seguintes procedimentos:

³ TABORGA - TORRICO, J.J. Práticas Hidrológicas. Rio de Janeiro, TRANSCON, 1974. 120p.

- Estudo probabilístico da chuva intensa de um dia, para cada posto selecionado;
- Determinação da chuva intensa de um dia, na área da bacia, através do método dos polígonos de Thiessen, para os tempos de retorno escolhidos;
- Desagregação da chuva intensa de um dia, na bacia, em chuva intensa de 24h; e
- Desagregação da chuva intensa de 24h, na bacia, em chuvas intensas de durações menores, através do método gráfico de TABORGA - TORRICO.

A distribuição Pearson III ajustou-se muito bem aos dados de chuva máxima diária dos postos selecionados para a bacia do açude Feijão. A aplicação dessa distribuição aos dados dos referidos postos resultou nas chuvas máximas diárias, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Após obtidas as chuvas máximas diárias, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, determinou-se a chuva máxima diária na bacia estudada, através da aplicação dos polígonos de Thiessen.

A desagregação da chuva intensa de 1 dia em chuva intensa de 24h é obtida da multiplicação do fator 1.1 pelo valor da chuva intensa de 1 dia.

Determinadas a chuva intensa de 24h, a metodologia de TABORGA-TORRICO desagregou-a em chuva intensa de 1h, através da expressão:

$$P_{1h} = K_{1h} \times P_{24h}, \text{ onde:}$$

K_{1h} - coeficiente tabelado por TABORGA-TORRICO em função da Isozona da bacia estudada e do tempo de retorno considerado.

As chuvas intensas para durações entre 1h e 24 h são obtidas por intermédio da seguinte equação de interpolação:

$$P_x = P_{1h} + (P_{24h} - P_{1h}) * (\log(x) - \log(1)) / (\log(24) - \log(1)), \text{ onde:}$$

P_x – chuva intensa de duração igual a x horas;

P_{1h} – chuva intensa de duração igual a 1 hora;

P_{24h} – chuva intensa de duração igual a 24 horas.

3.3.3.3 – Chuvas Intensas na Bacia

A aplicação da metodologia de TABORGA-TORRICO permitiu a obtenção das chuvas intensas na bacia, para os tempos de retorno de 1000 e 10000 anos e durações de 1h e 24h, as quais possibilitam a determinação de chuvas intensas de quaisquer outras durações e mesmos tempos de retorno. Essas chuvas intensas são apresentadas na Tabela 3.3.3.

Tabela 3.3.3 - Chuvas Intensas na Bacia do Açude Feijão, para Durações de 1 h, 1 dia e 24 h

Tempo de Retorno (anos)	P _{1 dia} (mm)	P _{24 h} (mm)	P _{1h} / P _{24 h}	P _{1h} (mm)
1.000	213,72	235,09	0,419	98,50
10.000	287,94	316,74	0,437	138,41

3.4 – ESTUDO DOS DEFLÚVIOS

3.4.1 – Dados Existentes

Tendo em vista que a bacia hidrográfica do açude Feijão não possui estação fluviométrica – bacia do Riacho do Feijão -, utilizaram-se os dados da estação Cristais, pertencente à bacia do rio Pirangi, para ajustar o modelo chuva - deflúvio escolhido. A bacia do Riacho do Feijão é uma sub-bacia do rio Pirangi.

3.4.2 – Modelo Matemático Chuva-Deflúvio

3.4.2.1 – Introdução

Com o objetivo de tornar possível a obtenção das vazões mensais, para o período de 1912 a 1988, possibilitando, dessa forma, o estudo de regularização da capacidade de acumulação do Açude Feijão, resolveu-se fazer uso do modelo matemático chuva-deflúvio, desenvolvido por LANNA e SCHWARZBACH⁴ e que recebeu, de seus autores, a denominação MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável.

O modelo MODHAC é utilizado, com razoável sucesso, no Nordeste brasileiro, principalmente no estado do Ceará, onde foi utilizado em todas as suas bacias hidrográficas, quando da realização de seu PERH-CE. É também bastante divulgado entre aqueles que fazem a hidrologia da região nordestina.

3.4.2.2 – Calibração do Modelo MODHAC

Na calibração do modelo MODHAC, conforme já mencionado no item 4.1, utilizou-se os dados da estação fluviométrica Cristais, após sua transformação para valores de deflúvio (lâmina escoada em mm).

O modelo MODHAC, com intervalo de computação diário, tem como característica mais notável, segundo seus próprios autores, a “possibilidade de ter seus parâmetros ajustados automaticamente, produzindo ajustes nas vazões mensais calculadas às vazões mensais observadas”. A Figura 3.4.1 mostra o esquema de funcionamento do modelo MODHAC.

⁴ LANNA, A. E. e SCHWARZBACH, M. MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável. Porto Alegre-RS: 54p. Recursos Hídricos - Publicação 21. IPH/UFRS. 1989.

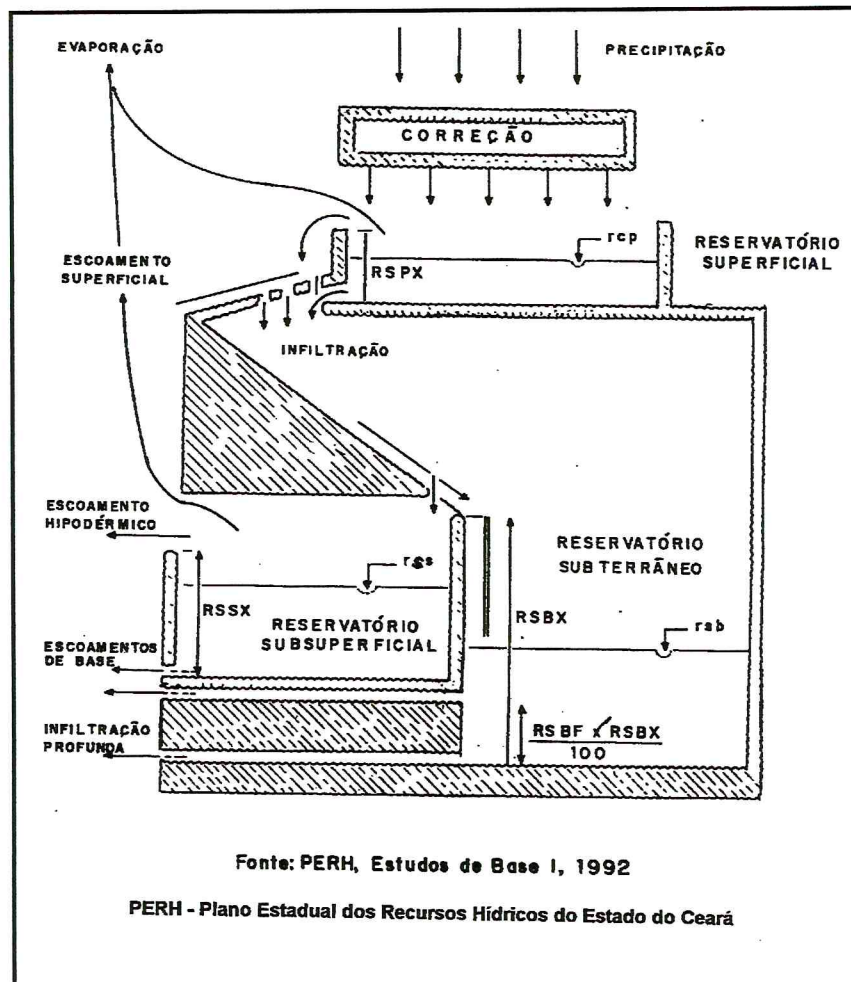


Figura 3.4.1 - Esquema de funcionamento do modelo MODHAC

Em sua concepção original, o modelo MODHAC possui 14 parâmetros. Esses parâmetros e respectivos significados são os seguintes:

- RSPX é a capacidade máxima do reservatório superficial, sendo função desta o retardo na resposta do escoamento superficial à ocorrência de chuva; representa todas as retenções, inclusive a açudagem difusa;
- RSSX é a capacidade máxima do reservatório sub-superficial. Em consequência de estar relacionada com a retenção na zona de atividade radicular dos vegetais, atua sobre as perdas por evapotranspiração e alimentação do escoamento em curtos períodos de estiagem;
- RSBX é a capacidade máxima do reservatório subterrâneo. Tomado como nulo no caso de bacias da região semi-árida do Brasil (Formação Cristalina); valores elevados encontram-se nas bacias sedimentares;
- IMIN é a infiltração mínima. É utilizado fundamentalmente para transladar os escoamentos no tempo, e seu efeito é semelhante ao parâmetro RSPX;

- e) IMAX é a permeabilidade do solo. Seu valor é proporcional à permeabilidade, em função da heterogeneidade dos solos que compõem a área drenada e das chuvas que ocorrem, esse parâmetro poderá perder o efeito na calibração;
- f) IDEC é o coeficiente de infiltração. Influencia a inter-relação entre os parâmetros IMIN e IMAX;
- g) ASB é o expoente da lei de esvaziamento do reservatório subterrâneo. Entra na calibração apenas no caso de RSBX ser diferente de zero;
- h) CEVA é um parâmetro da lei de evapotranspiração do solo, variando entre 0 e 1. Sua elevação determina maiores perdas por evapotranspiração;
- i) ASP é o expoente da lei de esvaziamento do reservatório superficial;
- j) ASS é o expoente da lei de esvaziamento do reservatório sub-superficial;
- k) TS é o tempo de trânsito do escoamento superficial. Seu valor deverá ser fixado na dependência do tempo de concentração estimado na bacia. Em geral, afeta muito pouco os resultados da simulação quando o intervalo de computação é o diário e o de simulação o mensal;
- l) TB é o tempo de trânsito do escoamento subterrâneo. Os mesmos comentários relativos a TS se aplicam. Normalmente, $TB \geq TS$;
- m) PRED é a correção da precipitação. Nos casos em que existe uma boa densidade de pluviômetros na bacia esse parâmetro deverá ser fixado com o valor 999 e não haverá correção da precipitação. Nos outros casos deverá ser verificado se as precipitações medidas subestimam ou superestimam os valores reais. No caso de superestimativa PRED deverá ser positivo. No outro caso, negativo. Seu ajuste deverá ser conduzido após os parâmetros mais sensíveis, listados previamente, terem sido pré-ajustados e quando for confirmada a hipótese de inconsistência das precipitações medidas; e
- n) RSBF é o armazenamento mínimo para que ocorra contribuição do reservatório subterrâneo no escoamento na base. Esse parâmetro é dado em percentagem da capacidade do reservatório subterrâneo. Logo, seu valor varia entre 0 e 100. Ele influencia as simulações de forma idêntica ao parâmetro PRED, de ajuste de chuva, quando este último for positivo. Ou seja, ele diminui os escoamentos da bacia. Seu uso deverá ser cogitado quando houver um excesso de escoamento calculado em conjunto com boa consistência dos dados pluviométricos. O uso efetivo, porém, deve ocorrer quando houver evidências de que a bacia é assentada em subsolo cristalino com relevante sistema de fraturas ou no Karst.
- o) A calibração do modelo utilizado aos dados fluviométricos da estação Cristais foi feita pelo PERH-CE, resultando nos valores ótimos dos parâmetros do modelo, os quais foram utilizados para a obtenção dos deflúvios afluentes ao açude Feijão. Esses parâmetros são apresentados na Tabela 3.4.1.

Tabela 3.4.1 - Valores ótimos da calibração do modelo MODHAC, aplicado à bacia hidrográfica do Açude Feijão

PARÂMETROS DO MODELO	VALORES ÓTIMOS
RSPX	84,0
RSSX	88,7
RSBX	0,0
RSBF	0,0
IMAX	46,7
IMIN	7,71
IDEC	0,6548
ASP	0,001
ASS	0,0086
ASB	0,0
PRED	999,0
CEVA	0,97

Na aplicação do modelo, utilizou-se como evapotranspiração potencial, os valores ponderados diários das evapotranspirações potenciais de HARGREAVES, da estação meteorológica de Morada Nova. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 3.4.2.

Tabela 3.4.2 - Valores médios diários de evapotranspiração potencial de Hargreaves

VARIÁVEL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
ETP(mm)	6,2	5,3	4,6	4,1	4,0	3,9	4,5	5,2	6,0	6,4	6,5	6,3

3.4.3 – Volumes Mensais Afluentes

A aplicação do modelo MODHAC à bacia hidrográfica do Açude Feijão produziu seus volumes afluentes, cujos valores mensais e anuais estão apresentados na Tabela 3.4.3.

Na Tabela 3.4.3 estão apresentados também a estatística dos volumes afluentes gerados pelo modelo MODHAC, onde se observa que o volume médio afluente do Açude Feijão foi de 23,714 hm³, representando uma lâmina escoada de 137 mm, com coeficiente de variação de 1,34.

Tabela 3.4.3 - VOLUMES AFLUENTES MENSAIS E ANUAIS (HM³) AO AÇUDE FEIJÃO E RESPECTIVOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MAIS IMPORTANTES

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1912	0,00	0,01	2,38	24,79	3,50	2,93	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,89
1913	0,00	0,01	8,08	13,36	4,25	2,85	1,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,86

Tabela 3.4.3 - VOLUMES AFLUENTES MENSAIS E ANUAIS (HM³) AO AÇUDE FEIJÃO E RESPECTIVOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MAIS IMPORTANTES

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1914	5,32	1,56	3,97	1,58	1,57	1,41	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,11
1915	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1916	0,00	0,00	0,01	0,01	1,51	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,68
1917	2,85	17,46	34,32	14,09	12,52	3,54	1,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	86,41
1918	0,00	1,30	0,30	1,50	0,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,51
1919	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,00	1,21	4,79	4,84	3,09	0,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,35
1921	0,00	0,02	14,49	14,98	17,27	2,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,95
1922	0,00	0,00	0,01	25,81	20,77	2,88	0,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	50,32
1923	0,00	0,01	0,65	2,26	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,72
1924	0,00	3,44	28,06	61,32	29,47	7,17	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	131,61
1925	0,00	0,01	2,98	21,17	3,74	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,67
1926	0,00	0,00	7,29	2,02	4,23	2,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,61
1927	0,00	9,30	5,39	2,68	2,34	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	20,11
1928	0,00	0,00	0,00	0,37	0,28	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67
1929	0,00	9,27	21,19	13,65	3,36	1,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	49,16
1930	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1931	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
1932	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1933	0,01	0,01	8,84	27,61	2,81	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,31
1934	0,00	2,34	13,72	5,31	15,98	3,25	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,92
1935	0,00	0,00	0,64	9,08	4,93	2,88	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,85
1936	0,00	2,99	2,06	0,38	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,44
1937	0,00	0,00	2,69	4,87	1,27	1,01	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,02
1938	0,00	0,00	5,79	3,85	2,85	1,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,90
1939	0,00	0,02	4,24	1,59	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,43
1940	0,00	0,00	5,95	25,65	9,61	4,45	2,47	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	48,20
1941	0,00	0,00	1,96	0,07	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08
1942	0,00	1,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08
1943	0,00	0,78	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,83
1944	0,00	0,00	0,03	6,49	1,92	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,74
1945	0,00	7,12	4,91	5,69	4,06	2,81	2,29	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	27,08
1946	0,00	0,00	0,03	3,55	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,46
1947	0,00	0,00	0,01	1,18	2,23	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,18	3,92
1948	0,00	0,00	1,73	0,51	0,47	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,97
1949	0,00	0,00	0,02	2,95	2,11	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,73
1950	0,00	0,00	7,86	20,22	5,70	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,65
1951	0,00	0,00	0,00	5,62	1,13	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,82
1952	0,00	0,00	0,00	0,03	4,78	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,16
1953	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03

Tabela 3.4.3 - VOLUMES AFLUENTES MENSIS E ANUAIS (HM³) AO AÇUDE FEIJÃO E RESPECTIVOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS MAIS IMPORTANTES

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1954	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
1955	0,00	0,02	1,60	3,06	8,79	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,89
1956	0,00	1,39	0,72	8,15	1,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,23
1957	0,00	0,00	0,02	5,01	2,21	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,45
1958	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1959	0,00	5,66	4,68	1,14	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	11,55
1960	0,00	0,00	18,71	3,54	7,00	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,77
1961	0,01	32,33	51,26	43,74	6,54	2,21	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	136,10
1962	0,00	0,00	1,93	11,93	3,07	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	17,61
1963	0,00	0,01	18,80	22,88	3,20	0,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,69
1964	0,69	4,85	40,69	37,95	29,39	3,51	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	118,60
1965	0,00	0,00	3,71	27,85	8,83	7,96	3,21	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	51,65
1966	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
1967	0,00	0,14	4,49	24,40	8,21	3,01	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	40,57
1968	0,00	0,00	1,63	1,27	2,21	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,98
1969	0,00	0,00	0,01	9,36	1,46	0,13	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,96
1970	0,00	0,00	0,03	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07
1971	0,00	0,00	6,24	5,49	8,32	3,05	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,05
1972	0,00	0,00	0,03	0,00	0,05	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
1973	0,00	0,00	0,02	10,16	5,68	3,71	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,43
1974	10,15	7,68	14,84	28,78	27,40	8,38	2,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,35
1975	0,00	0,00	1,56	0,89	4,33	2,59	2,07	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	11,57
1976	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1977	0,01	0,01	0,03	3,67	3,32	2,06	1,60	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	10,71
1978	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
1979	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1980	0,00	0,74	13,83	2,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,66
1981	0,00	0,00	16,34	19,52	1,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,61
1982	0,00	0,00	0,00	0,03	0,36	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58
1983	0,00	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
1984	0,00	0,00	0,02	10,51	19,16	3,27	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,31
1985	0,01	10,53	31,04	29,49	27,38	12,65	4,49	1,76	0,00	0,00	0,00	0,00	117,34
1986	0,00	1,15	3,94	50,46	8,38	7,48	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,26
1987	0,00	0,00	7,75	3,22	1,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	12,85
1988	0,00	0,00	0,00	5,54	30,11	3,06	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,41
MÉDIA	0,25	1,57	5,65	9,08	5,11	1,57	0,46	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	23,714
DESV.P.	1,33	4,65	10,01	12,88	7,72	2,34	0,89	0,20	0,00	0,00	0,00	0,02	31,857
C. V.	5,38	2,95	1,77	1,42	1,51	1,49	1,96	6,91	-	8,77	8,77	8,28	1,34

3.5 – ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

3.5.1 – Estudo da Vazão de Regularização do Açude Feijão

3.5.1.1 – Método da simulação

Utilizando a equação do balanço hídrico, os dados de precipitação e evaporação mensais da estação meteorológica Morada Nova, bem como a curva Cota x Volume do Açude Feijão e suas vazões mensais afluentes, determinou-se sua curva de garantia (%) x Vazão regularizada (hm^3/ano) para a capacidade de $35,884 \text{ hm}^3$ (cota = 110,0 m). A Tabela 3.5.1 e a Figura 3.5.1 apresentam os valores de Garantia x Vazão regularizada do Açude Feijão.

Tabela 3.5.1 – Garantia versus Vazão Regularizada do Açude Feijão, para a Capacidade de $35,884 \text{ hm}^3$ (cota = 110,0 m).

SANGRIA(%) - ANUAL	SANGRIA(%)	GARANTIA(%)	VAZÃO REGUL. (hm^3/ano)
41,7	12,8	100,0	9,519840
41,5	12,2	99,0	9,875640
36,4	10,8	95,0	11,259840
35,1	10,1	90,0	13,246920
32,5	9,3	85,0	15,216120

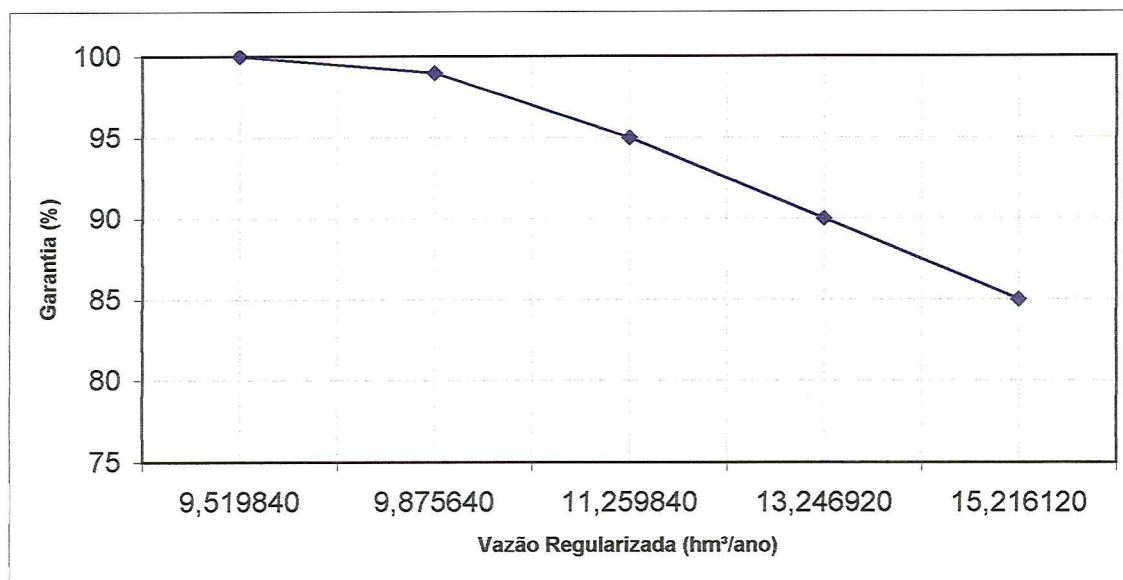


Figura 3.5.1 – Curva Garantia versus Vazão Regularizada do açude Feijão, para a Capacidade de $35,884 \text{ hm}^3$ (cota = 110,0 m).

3.6 – ESTUDO DA CHEIA DE PROJETO

3.6.1 – Introdução

A segurança e a economia de um açude está diretamente relacionada com a obtenção da cheia de projeto, a qual permitirá o dimensionamento adequado de seu sangradouro. Em açudes, onde há o perigo de grandes prejuízos e de perdas humanas, geralmente utilizam-se as cheias máximas milenares ou decamilenares.

3.6.2 – Metodologia utilizada

A inexistência de série de dados fluviográficos de boa qualidade e de razoável extensão, torna inexorável a utilização de métodos indiretos na determinação da cheia de projeto do açude estudado.

Adotar-se-á, no presente estudo, a metodologia indireta do HEC-1, a qual se baseia em seu hidrograma unitário triangular do *Soil Conservation Service* e no parâmetro CN (*Curve Number*). Esse parâmetro CN representa o complexo solo-vegetação e seu relacionamento com a potencialidade da bacia na formação de picos de cheias.

Para a bacia do Açude Feijão, obteve-se o valor CN igual a 78.

3.6.3 – Hidrograma Unitário Triangular do SCS

Para a obtenção do Hidrograma Unitário Triangular - HUT - , é necessária a determinação do tempo de concentração da bacia estudada, t_c , o que foi obtido pela fórmula de Kirpich:

$$t_c = 57 \times (L^3 / H)^{0,387} = 57 \times (26,67 / 142,0)^{0,387} = 375,0 \text{ min.} = \mathbf{6,25 \text{ horas}}$$

onde:

t_c - tempo de concentração, em minutos;

L - comprimento do curso d'água principal, em km; e

H - desnível entre as cotas da cabeceira e do exutório da bacia, em m.

Após o cálculo do tempo de concentração - t_c , em horas, foram determinados os três parâmetros básicos do HUT do SCS, quais sejam:

$$t_r = t_c / 6 = 6,25 / 6 \cong \mathbf{1,04 \text{ horas}}$$

$$t_p = 0,5 \times t_r + 0,6 \times t_c = 0,5 \times 1,04 + 0,6 \times 6,25 \cong \mathbf{4,27 \text{ horas}}$$

$$t_b = 2,667 \times t_p = 2,667 \times 4,27 \cong \mathbf{11,41 \text{ horas}}$$

$$Q_p = (0,2081 \times A_{\text{bacia}} \times 1\text{mm}) / t_p = (0,2081 \times 173,633) / 4,27 \cong \underline{8,45 \text{ m}^3/\text{s}}$$

onde:

t_r - duração da chuva efetiva unitária do HUT, em horas;

t_p - tempo decorrido até a vazão de pico do HUT, Q_p , em horas;

t_b - tempo de base do HUT, em horas; e

Q_p - vazão de pico correspondente à chuva efetiva unitária de 1mm, em m^3/s .

Na Figura 3.6.1 é mostrado o HUT de 1,04 horas do SCS, para o caso da bacia do Açude Feijão.

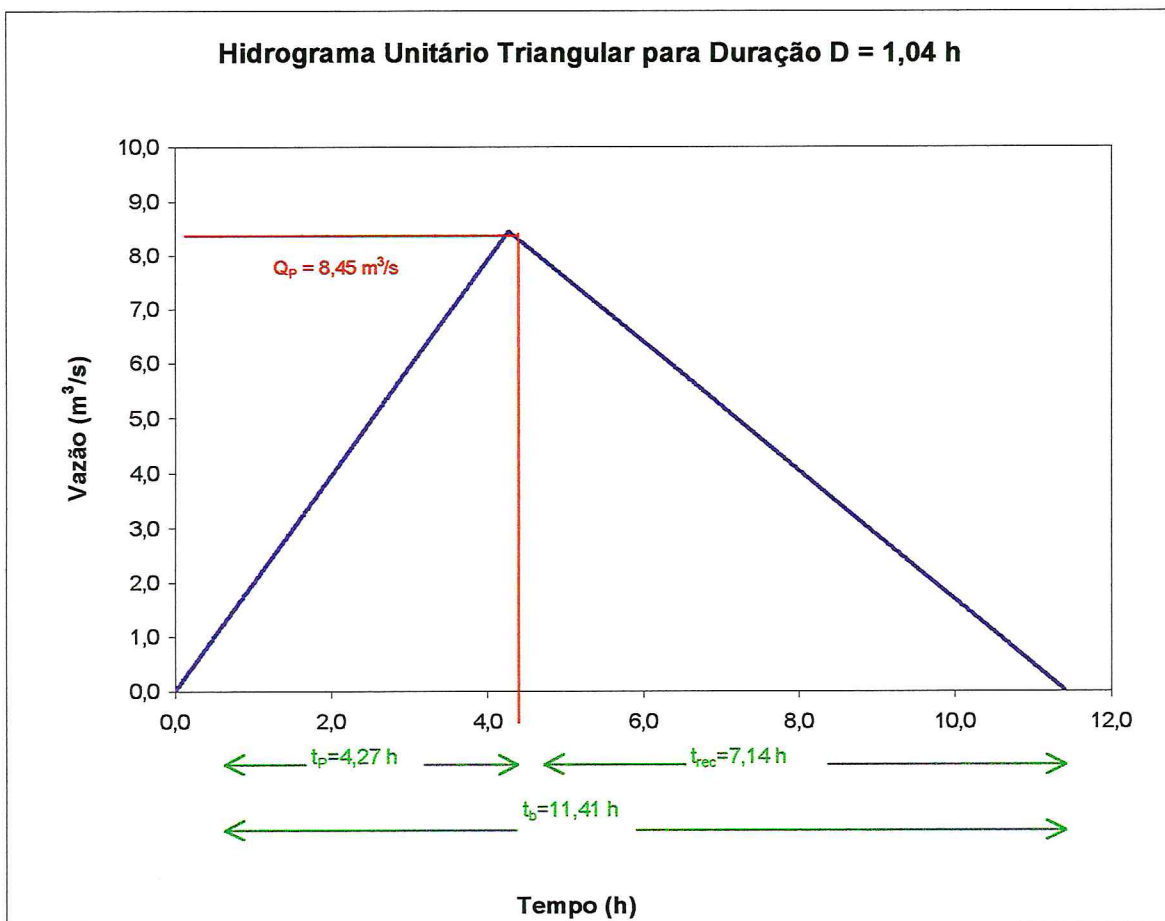


Figura 3.6.1 - Hidrograma unitário triangular do SCS para duração de 1,04 horas

3.6.4 – Hidrogramas das Cheias de Projeto

Para a obtenção dos hidrogramas das cheias de projeto, correspondentes aos tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, utilizando a metodologia do HEC-1, tornou-se necessário, inicialmente, a determinação do hietograma efetivo balanceado com duração igual ao tempo de concentração da bacia estudada, para os referidos períodos de retorno.

As chuvas intensas na bacia foram obtidas através da metodologia de TABORGA-TORRICO, conforme descrito anteriormente.

As chuvas intensas efetivas na bacia foram obtidas através da equação do SCS, em unidades do S.I.:

$$P_{\text{efetiva}} = \frac{[P - (5080/CN) + 50,8]^2}{[P + (20320/CN) - 203,2]}$$

onde:

P_{efetiva} - chuva intensa efetiva na bacia, em mm;

P - chuva intensa na bacia, em mm; e

CN - parâmetro CN - "Curve Number" - do SCS.

Com o CN = 78 - obtido anteriormente - da bacia estudada, obtiveram-se as chuvas intensas efetivas para os tempos de retorno escolhidos.

Tabela 3.6.1 – Cálculos do hietograma efetivo balanceado da bacia do açude Feijão, para duração igual ao tempo de concentração e período de retorno de 1.000 anos

D(h)	P _{acumulada} (mm)	P _{efetiva acumulada} (mm)	P _{efetiva} (mm)	P _{efetiva ordenada} (mm)	P _{efetiva balanceada} (mm)
1,04	100,29	46,89	46,89	7,08	8,59
2,08	130,08	71,50	24,61	8,59	15,10
3,13	147,51	86,59	15,10	10,94	46,89
4,17	159,87	97,53	10,94	15,10	24,61
5,21	169,46	106,12	8,59	24,61	10,94
6,25	177,30	113,20	7,08	46,89	7,08

Tabela 3.6.2 – Cálculos do hietograma efetivo balanceado da bacia do açude Feijão, para duração igual ao tempo de concentração e período de retorno de 10.000 anos

D(h)	P _{acumulada} (mm)	P _{efetiva acumulada} (mm)	P _{efetiva} (mm)	P _{efetiva ordenada} (mm)	P _{efetiva balanceada} (mm)
1,04	140,74	80,69	80,69	9,62	11,71
2,08	179,64	115,33	34,64	11,71	20,85
3,13	202,39	136,18	20,85	14,99	80,69
4,17	218,53	151,17	14,99	20,85	34,64
5,21	231,05	162,88	11,71	34,64	14,99
6,25	241,28	172,50	9,62	80,69	9,62

Aplicando os hidrogramas efetivos balanceados da bacia do açude Feijão ao H.U.T. de 1,04 horas de duração da bacia, obtiveram-se os hidrogramas das cheias de projeto, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, conforme mostrados na Figura 3.6.2.

Na Tabela 3.6.3 são apresentadas as vazões de pico dos hidrogramas das cheias de projeto, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Tabela 3.6.3 - Vazões de pico dos hidrogramas das cheias de projeto para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos

Tempo de Retorno (anos)	Vazões de Pico dos Hidrogramas das Cheias de Projeto (m ³ /s)
1.000	777,89
10.000	1210,27

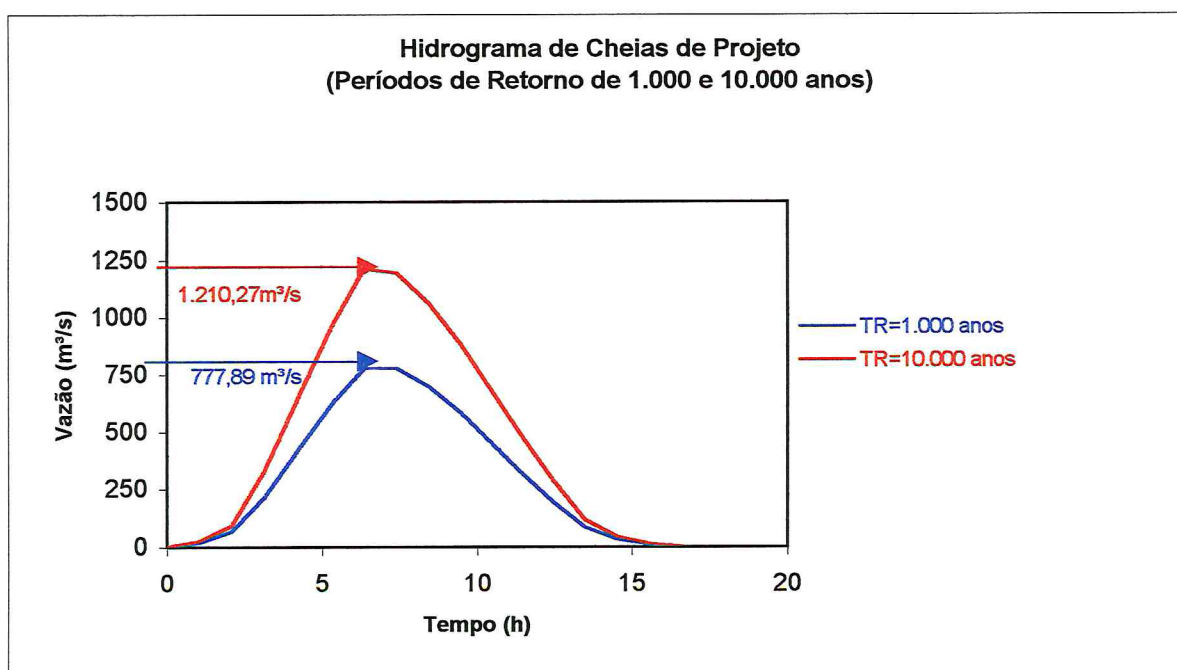


Figura 3.6.2 - Hidrogramas das cheias de projeto, para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

3.7 – DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

Para dimensionamento do sangradouro do Açude Feijão, fez-se o estudo de laminação através da utilização das cheias milenar e decamilenar, já determinadas anteriormente. Nessa laminação adotou-se um sangradouro de largura igual a 100 metros, com coeficiente de descarga igual a 2,0 (perfil tipo Creager).

3.7.1 – Amortecimento das Cheias Milenar e Decamilenar.

O amortecimento das cheias de 1.000 e 10.000 anos foi efetivado, através da utilização da curva cota x volume apresentada no tabela 7.1 e da metodologia de Puls, que é dada pela equação:

$$V_{i+1} + \frac{1}{2}(QE_{i+1})xDT = (V_i - \frac{1}{2}(QE_i)xDT) + \frac{1}{2}(QA_i + QA_{i+1})xDT$$

Onde:

- V - volume acumulado no açude, em metros cúbicos;
- QA - vazão afluente ao açude, em metros cúbicos por segundo;
- QE - vazão efluente ao açude, em metros cúbicos por segundo;
- DT - intervalo de tempo utilizado.

TABELA 3.7.1 – Valores de cota versus volume do Açude Feijão.

COTA (m)	ACUMULADO (hm ³)
97	0,000000
98	0,086772
99	0,281703
100	0,678387
101	1,369793
102	2,448261
103	4,005506
104	6,132615
105	8,920048
106	12,457640
107	16,834596
108	22,139496
109	28,460292
110	35,884311
111	44,498251
112	54,388184
113	65,639555
114	78,337182
115	92,565256
116	108,407340
117	125,946373
118	145,264664
119	166,443896
120	189,565127

Considerando o volume do Açude Feijão em sua cota de sangria de 110,0 metros, com largura do sangradouro de 100 metros, bem como a utilização da metodologia de Puls, obtiveram-se as cheias efluente para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, respectivamente. Nas figuras 3.7.1 e 3.7.2 são apresentadas as cheias afluentes e efluentes para os tempos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Na tabela 3.7.2 são apresentadas as vazões de pico afluentes e efluentes e respectivas lâminas efluentes, para os tempos de retorno de 1.000 anos e 10.000 anos.

Tabela 3.7.2 – Vazões de pico afluentes e efluentes

Tempo de Retorno de 1.000 anos			Tempo de Retorno de 10.000 anos		
$Q_{\text{pico_afluente}}$ (m^3/s)	$Q_{\text{pico_efluente}}$ (m^3/s)	Lâmina efluente (m)	$Q_{\text{pico_afluente}}$ (m^3/s)	$Q_{\text{pico_efluente}}$ (m^3/s)	Lâmina efluente (m)
777,89	336,42	1,41	1210,27	549,58	1,96

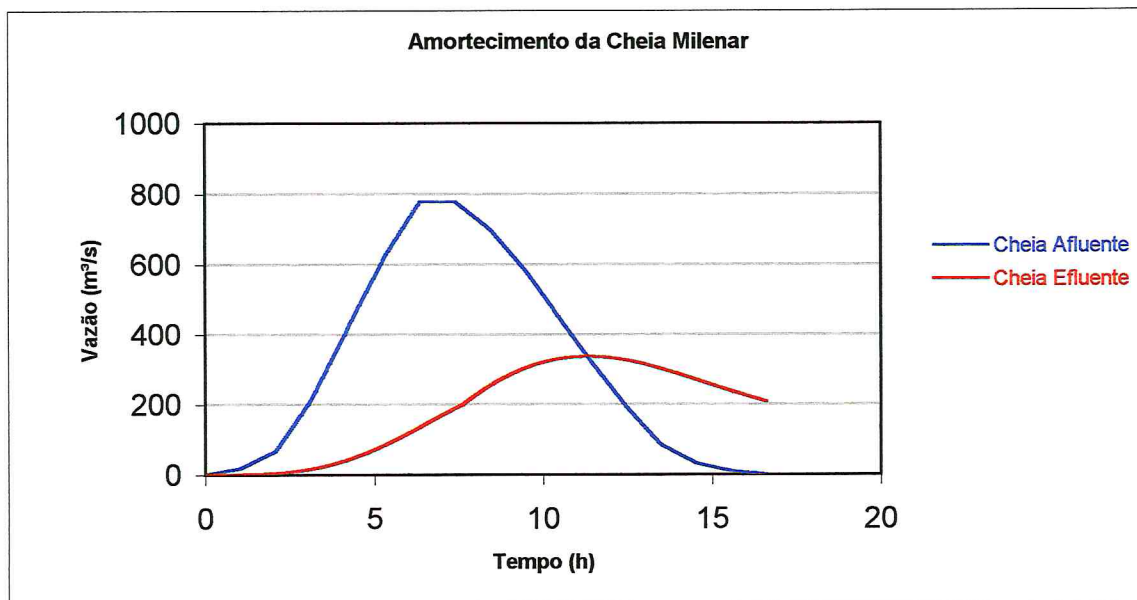


FIGURA 3.7.1 – Amortecimento da cheia milenar para cotas do sangradouro do Açude Feijão

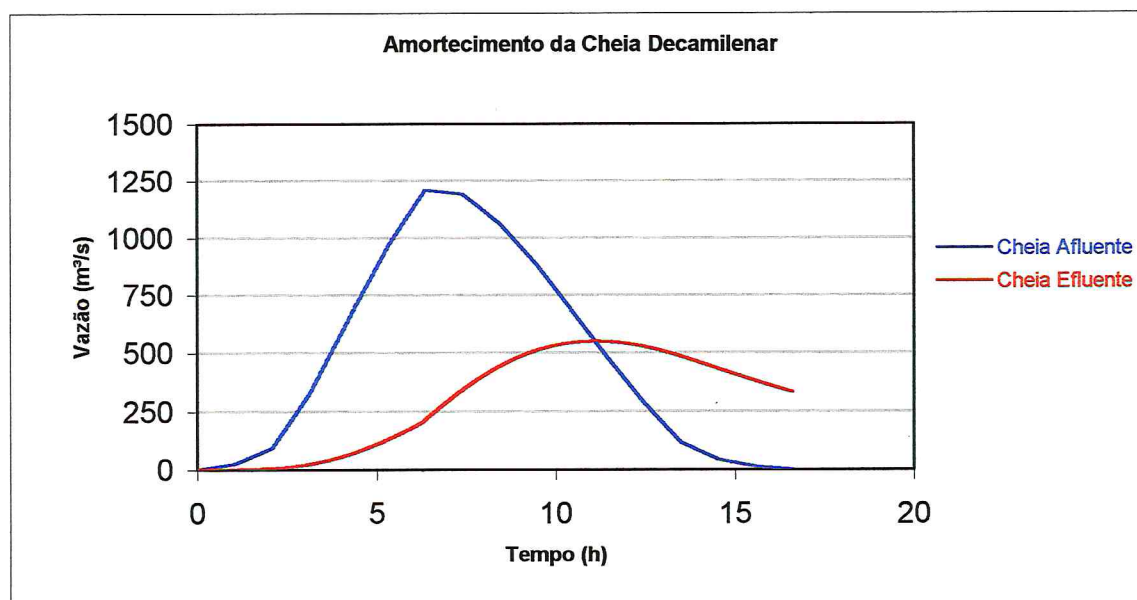
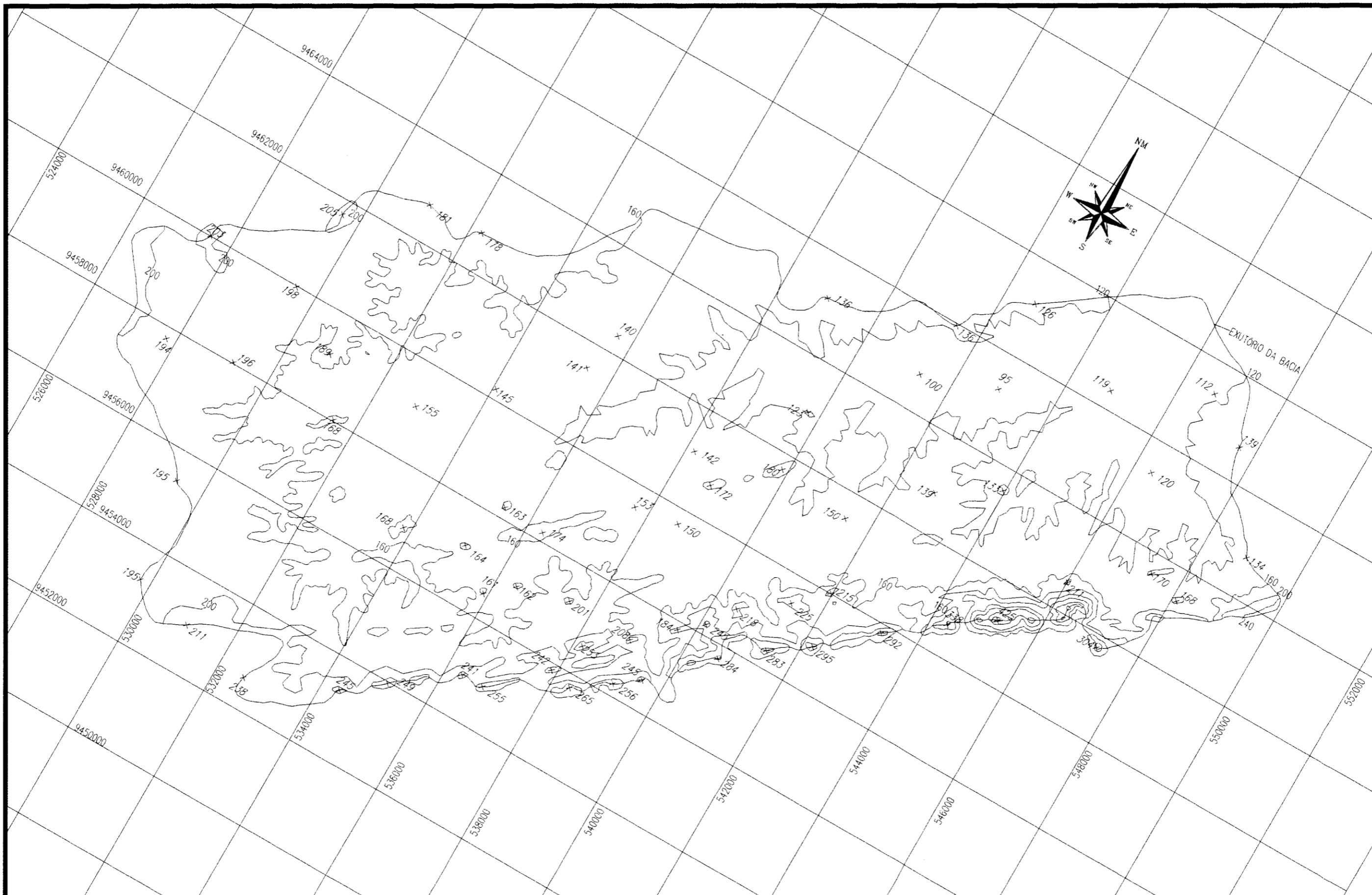


FIGURA 3.7.2 – Amortecimento da cheia decamilenar para cotas do sangradouro do Açude Feijão





LEGENDA
 ~ RIO
 --- CURVAS DE NÍVEL
 x PONTOS

ESCALA:
1/75.000
 DATA:
AGOSTO/2002
 DESENHO:
01/01

BARRAGEM FEIJÃO
FIGURA 3.1 - BACIA HIDROGRÁFICA
ANB - Águas do Nordeste do Brasil Ltda.