



Folha de Dados

IDGED:

0192/01

LOTE:

2106

AUTOR:

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – ANB

TÍTULO:

PROJETO EXECUTIVO DA ADUTORA DE PARAMOTI

SUBTÍTULO:

VOLUME I – ESTUDOS BÁSICOS

JULHO/97

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

**PROJETO EXECUTIVO DA ADUTORA DE
PARAMOTÍ**

VOLUME I - ESTUDOS BÁSICOS



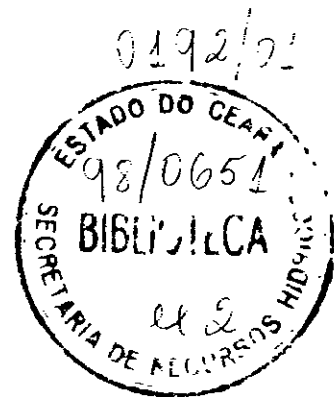
Lote. 02106 - Prep (X) Scan (X) Index ()
Projeto Nº 0192/01
Volume _____
Qtd A1 _____ Qtd A3 _____
Qtd A2 _____ Qtd A1 _____
Qtd A0 _____ Outros _____

Av. Santos Dumont, 1687 sala - 703
CEP:60.150-160 Fone - Fax (085) 264 - 3741
CGC:00.647.338/0001-30 - INSC.MUNICIPAL Nº 125.364-6
Fortaleza - CE

**FORTALEZA
JULHO - 1997**

ANB

Associação Nacional de Bancos



SUMÁRIO

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	5
1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO MUNICÍPIO.....	7
1.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	8
1.2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA	10
1.2.1 - Principais Parâmetros	11
1.2.2 - Balanço Hídrico	18
1.2.3 Classificação do Clima	20
1.3 - MEIOS DE COMUNICAÇÃO	21
1.4 - SANEAMENTO BÁSICO	21
1.5 - ENERGIA ELÉTRICA	22
1.6 - DEMOGRAFIA	22
1.7 - DOMÍLIOS	23
1.8 - RELEVO	24
1.9 - GEOLOGIA	24
1.10 - RECURSOS HÍDRICOS	24
1.11 - ECONOMIA	25
2 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	26
2.1 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	27
2.1.1 - Dados Utilizados	29
2.1.2 - Caracterização do Regime Pluviométrico	31
2.2 - ESTUDO DE DEFLUVIOS	33
2.2.1 - Metodologia	34
2.2.2 - Dados Necessários	36
2.2.3 - Ajuste do Modelo e Resultados Obtidos	37
2.2.4 - Geração da Série de Vazões	38

2.3 – ESTUDO DO RESERVATORIO	41
2.3.1 - Introdução	41
2.3.2 - Capacidade de regularização	41
2.3.3 - Resultados	45
2.3.4 - Estudo da Disponibilidade Hídrica	47
2.3.5 - Ficha Técnica da Barragem	54
3 - ESTUDOS DEMOGRAFICOS	55
3.1 - GENERALIDADES	56
3.2 - POPULAÇÃO BENEFICIADA	56
3.2.1 - AREAS ATENDIDAS	56
3.2.2 - PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO	56
4 - PARÂMETROS DE PROJETO.....	59
4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	60
4.2 - PARÂMETROS ADOTADOS	60
4.3 - VAZÃO DE ABASTECIMENTO	60
4.4 - DIÂMETRO ECONÔMICO	61

ANB

Associação Nacional de Aviação Civil

5

APRESENTAÇÃO

Av. Santos Dumont, 1687 - Sala 703 - Aldeota - Fortaleza-CE - CEP 60 150-160 - Fone (Fax) (085) 264-37-41
CGC 00 647 338/0001-30 - INSC MUNICIPAL Nº 125 364-6

000007

APRESENTAÇÃO

O Governo do Estado do Ceará, através da Secretaria dos Recursos Hídricos, vem implementando ações institucionais e executando projetos voltados para o desenvolvimento dos recursos hídricos com o objetivo de garantir a regularidade e a democratização da oferta d'água em todo o seu território

Dando seguimento a estes programas e devido a precariedade do atual sistema de abastecimento d'água da cidade de Paramotí, a SRH está elaborando o projeto executivo da adutora homônima tendo como fonte hídrica o açude General Sampaio, através do contrato nº 20 / 97 celebrado entre esta secretaria e a empresa ANB - Águas do Nordeste do Brasil Ltda

Portanto segue o Relatório dos Estudos Básicos onde apresentamos os estudos hidrológicos, demográficos e os parâmetros que serão adotados no desenvolvimento deste projeto. Vale ressaltar que estes estudos seguem fielmente os TERMOS DE REFERÊNCIA DA SRH, assim como as Normas da ABNT, CAGECE e CETESB

1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO MUNICÍPIO

1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO MUNICÍPIO

1.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O município de Paramotí com uma área de cerca de 691 km², está situado na região Norte do estado do Ceará, na zona fisiográfica denominada Sertão Centro - Norte. Limita-se ao Norte com General Sampaio, ao Sul e a Oeste com Canindé e a Leste com Caridade.

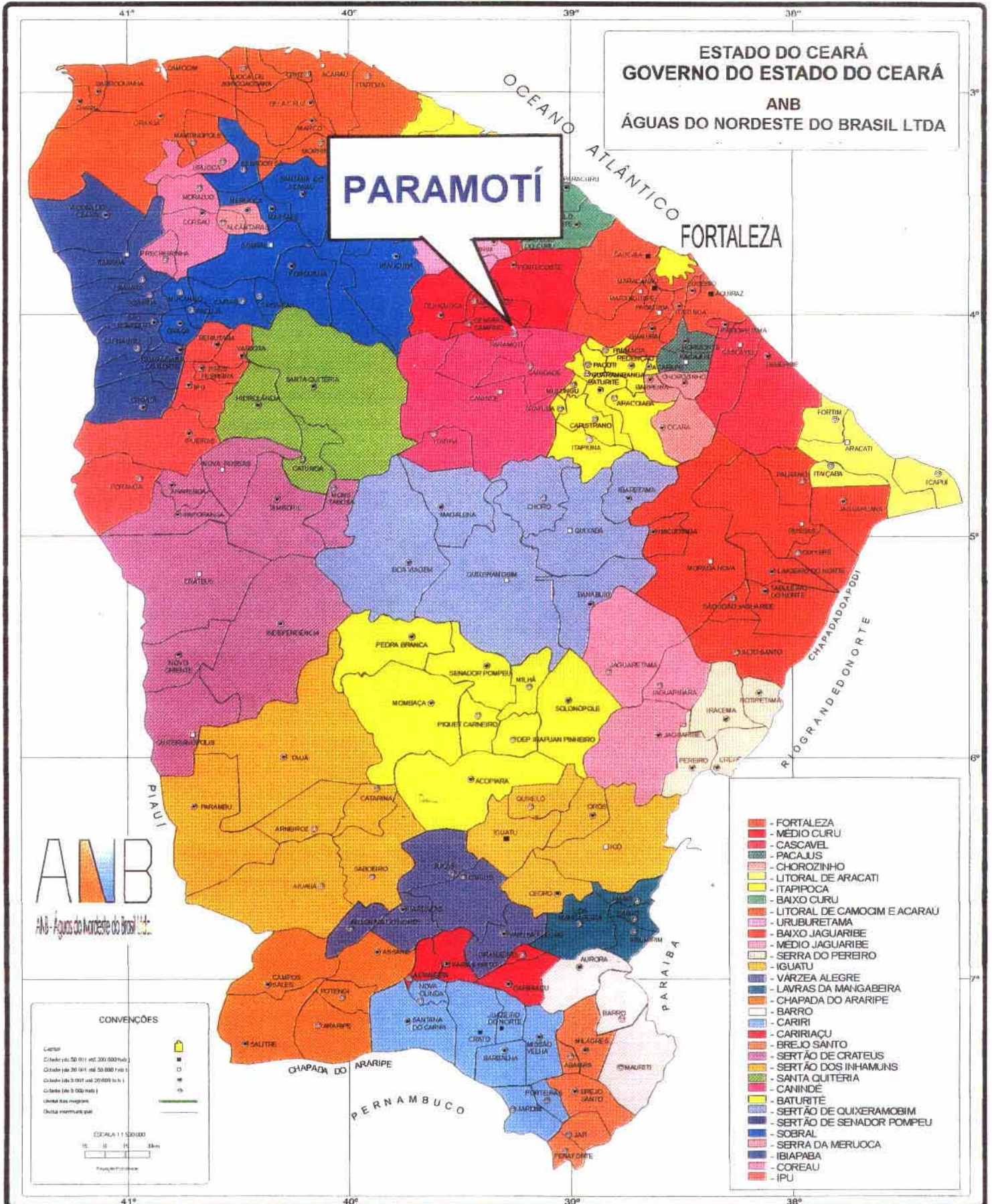
A sede do município possui as seguintes coordenadas geográficas

- Latitude 04°05'49" S.
- Longitude 39°14'22" W

O acesso a cidade de Paramotí, a partir de Fortaleza, é feito pela BR 020, até Caridade onde posteriormente segue-se pela CE 162, perfazendo um percurso de quase 100 (cem) km.

A figura 1.1 mostra a posição da cidade no contexto estadual.

FIGURA 1.1 MAPA DE LOCALIZAÇÃO



1.2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

A abordagem aqui desenvolvida visa dar subsídios aos ao projeto da adutora de Paramoti, a qual utilizará como fonte hídrica o açude General Sampaio. O escopo desta parte do estudo consiste na avaliação da disponibilidade hídrica do açude General Sampaio, concentrando-se, portanto, na caracterização hidroclimatológica da sua bacia hidrográfica a fim de permitir a operação simulada do reservatório propriamente dito.

A sub-bacia do rio Curu, referente ao trecho a montante do açude General Sampaio, possui uma área de 1574 km², um perímetro de 210 km e um comprimento de talvegue de 87,5 km. A declividade média da bacia é igual a 6,51 %.

No interior da bacia existe a estação meteorológica de Pentecoste, mantida pela Universidade Federal do Ceará. Apesar disso, foi utilizada a estação meteorológica de Sobral como representativa da climatologia da bacia que drena para o açude General Sampaio. Esta decisão fundamenta-se no fato de a estação de Pentecoste sofrer uma forte influência da zona litorânea, a qual não representa fielmente a situação climática da bacia do açude General Sampaio com seu centro de gravidade localizado, aproximadamente, no paralelo 4°16'. A estação de Sobral, por sua vez, com uma distância do litoral semelhante a da bacia considerada, possui um regime de ventos, temperatura e umidade do ar compatível com a situação geográfica mais interior da sub-bacia ora estudada. Assim, foi utilizada como estação representativa a de Sobral, com exceção dos registros pluviométricos, onde foram utilizados os dados disponíveis na região da bacia do Curu.

1.2.1 - Principais Parâmetros

a) Temperatura

A distribuição temporal das temperaturas diárias mostra pequenas variações para os três pontos discretos de monitoramento (12 00, 18 00 e 24 00 TMG - Tempo Médio de Greenwich), sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes

A temperatura média compensada é obtida por ponderação entre as temperaturas observadas nas estações meteorológicas T12 e T24 TMG, TMAX e TMIN do dia, pela seguinte fórmula estabelecida pela OMM (Organização Meteorológica Mundial)

$$T_{comp} = \frac{T_{12} + 2 T_{24} + T_{MAX} + T_{MIN}}{5}$$

onde,

Tcomp - Temperatura média compensada

T12 - Temperatura observada às 12 00 TMG

T24 - Temperatura observada às 24 00 TMG

TMAX - Temperatura máxima do dia

TMIN - Temperatura mínima do dia

A temperatura compensada apresenta uma pequena variação de 2,6 °C, isso para os meses de abril (27,5 °C) e junho (24,9 °C) As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de Outubro (35,9 °C) e Julho (21,2 °C), conforme se observa na Tabela 1.1 e Figura 1.2

Tabela 1.1-Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°C) na estação de Sobral

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máxima	33,8	32,9	30,1	31,1	31,2	31,6	33,0	34,8	35,8	35,9	35,6	34,0
Comp	26,7	27,1	26,2	27,5	26,2	24,9	26,4	27,2	26,3	26,7	27,1	27,1
Mínima	23,6	22,0	22,5	22,6	21,3	21,5	21,2	21,4	21,5	21,5	22,0	23,3

FONTE INEMET (1991)

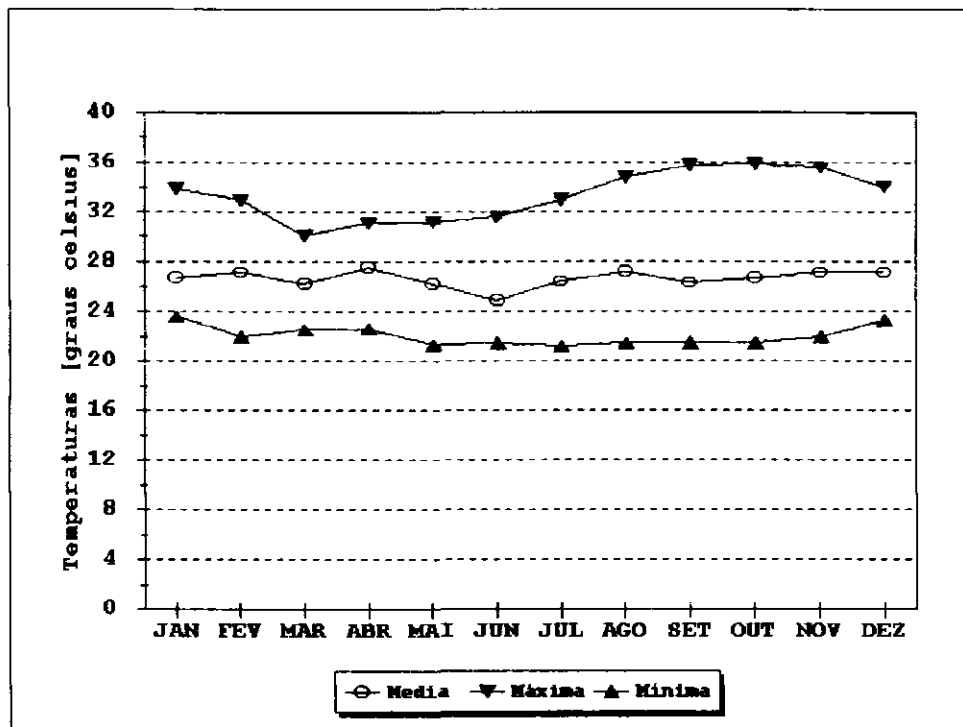


Figura 1.2 - Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas na estação de Sobral

b) Umidade Relativa

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 30% referente aos meses de Abril (85%) e Agosto/Setembro (55%), como pode-se verificar na Tabela 1 2 e na Figura 1 3

Tabela 1.2 Umidade Relativa na estação de Sobral

Média	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 INEMET (1991)

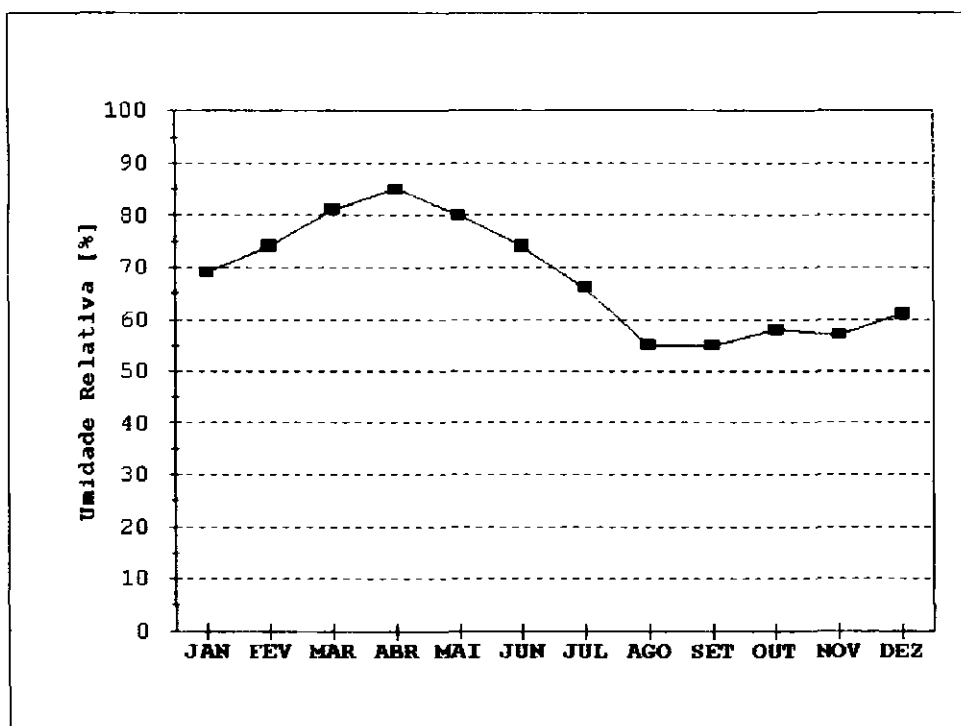


Figura 1.3 Umidade Relativa na estação de Sobral

Os índices de umidade medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em conta, entre estes, a pluviometria que se constitui como o principal componente do fenômeno. Assim, considerando-se a inexistência de outras estações hidroclimatológicas nas proximidades da área de estudo, a umidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

c) Insolação Média

A Tabela 1.3 e a Figura 1.4 mostram, respectivamente, o número de horas de exposição no local da estação de Sobral e sua distribuição mensal. Em termos atuais, no mesmo período, tem-se 2416.6 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 55% dos dias do ano possuem incidência solar direta. O trimestre fevereiro/março/ abril apresenta os menores valores

Tabela 1.3 Insolação Média na estação de Sobral

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
horas	188,1	143,5	155,0	151,7	189,3	195,5	234,7	268,2	232,2	233,4	221,8	203,2

FONTE INEMET (1991)

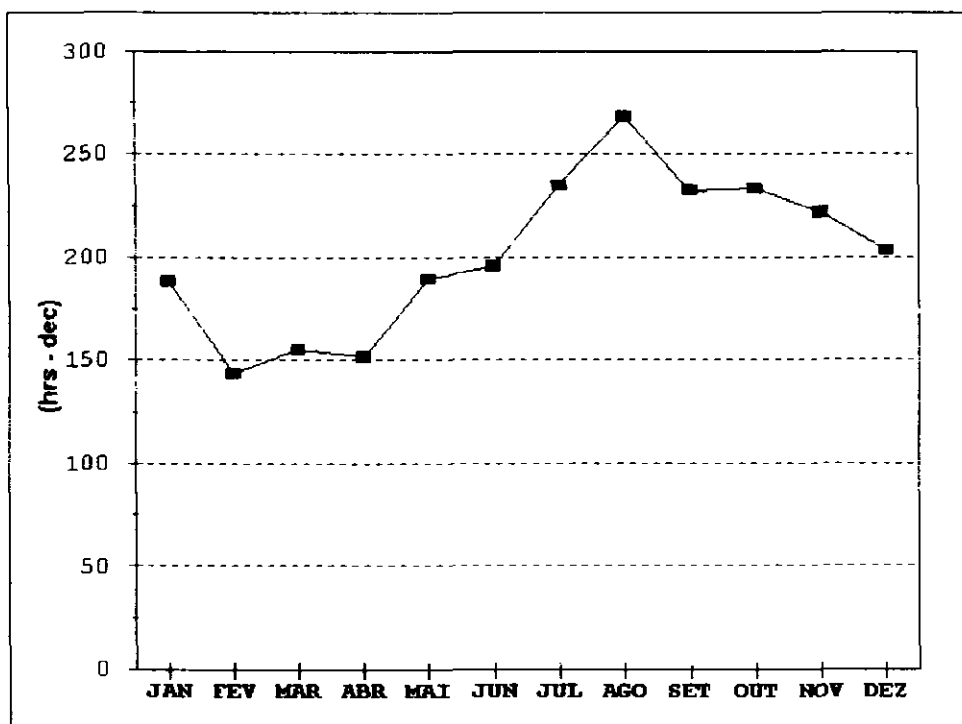


Figura 1.4 - Insolação Média na estação de Sobral

d) Ventos

A intensidade do vento é medida nos horários sinóticos de observação, a uma altitude de 10 m em relação a estação. Da mesma forma, a direção do vento também é medida nos três horários sinóticos, indicando a direção de onde o vento se origina.

Os dados para a estação de Sobral de velocidade de vento encontram-se apresentados na Tabela 1.4 e Figura 1.5. Além disto, verifica-se para esta região, que a direção predominante está dentro do quadrante Nordeste/Sudeste.

Tabela 1.4 Velocidade de Vento Média na estação de Sobral

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Horas	2,8	2,6	2,3	1,7	1,7	2,0	2,5	2,7	3,7	3,3	3,5	3,3

FONTE: INEMET (1991)

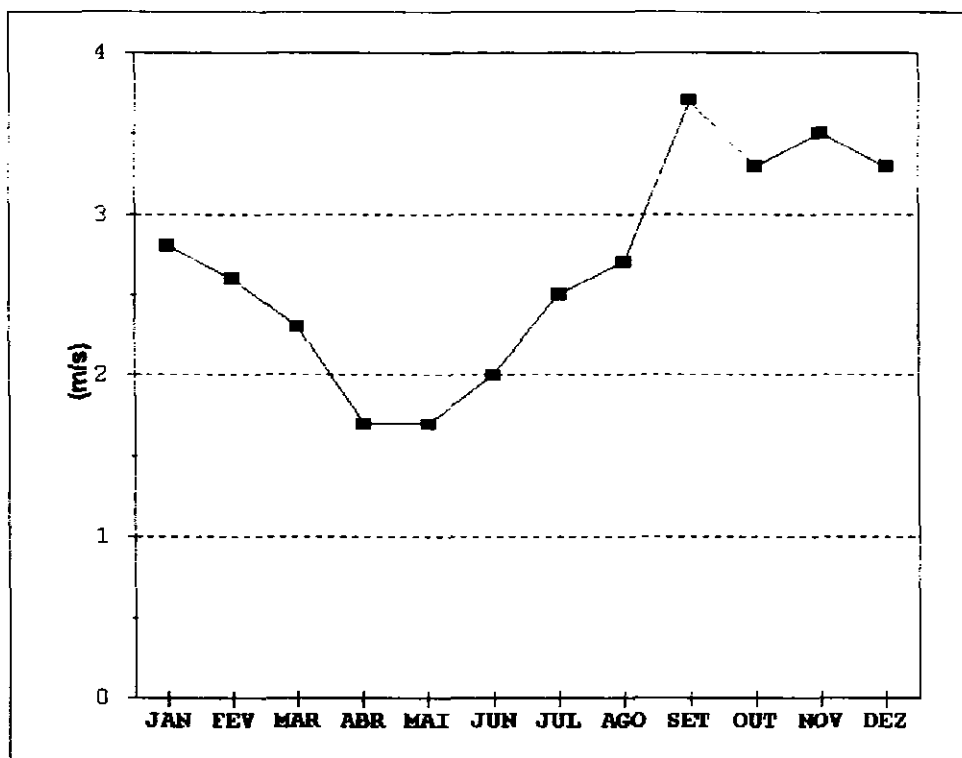


Figura 1.5 Velocidade Média do Vento na estação de Sobral

e) Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe "A" é de 1914,7 mm, distribuída ao longo dos meses segundo a Tabela 1 5 e a Figura 1 6

Tabela 1.5 Evaporação Média na estação de Sobral

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Mm	156,6	125,2	94,6	101,6	99,7	116,6	157,9	191,3	221,3	224,7	220,0	205,2

FONTE INEMET (1991)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (224,7 mm). Deve-se ressaltar, entretanto, que para adotar estes valores como re-

representativos da evaporação em açudes, principalmente pequenos e médios, deve-se multiplicar estes valores por um coeficiente entre 0,70 e 0,80

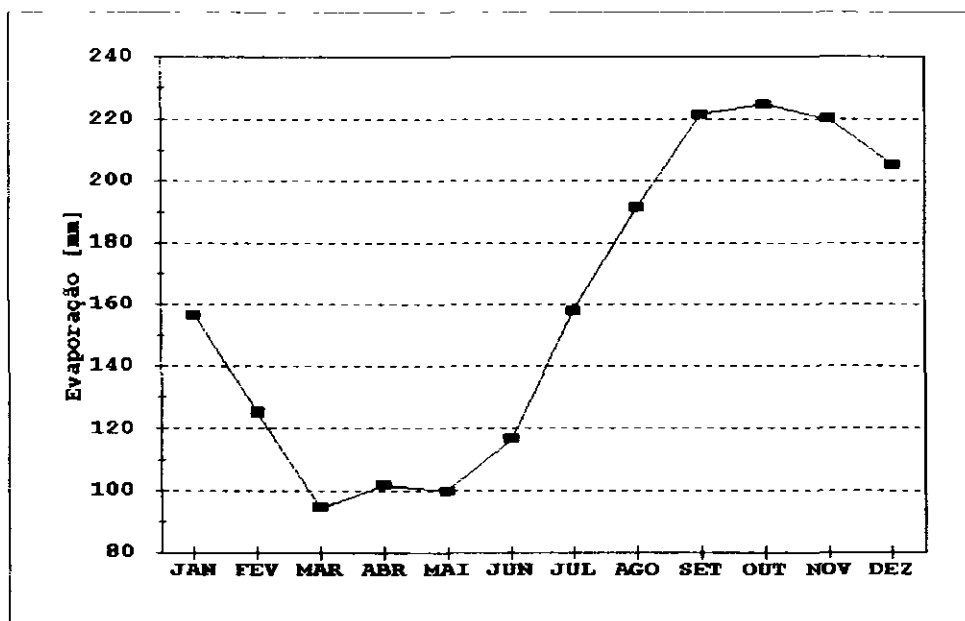


Figura 1.6 Evaporação Média na estação de Sobral

f) Evapotranspiração

Como estimativa da evapotranspiração média, foi utilizada a equação de Hargreaves¹ mostrada abaixo. Esta fornece a ETP em função da Temperatura média compensada, umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado

$$ETP = F (100,0-U)^{1/2} 0,158 (32+1,8T)$$

F - Fator dependente da latitude (adimensional)

T - Temperatura média compensada em °C

U - Umidade relativa do ar (%)

¹HARGREAVES, G.H. 1974. POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS FOR NORTH-EAST OF BRAZIL. UTAH STATE UNIVERSITY

Tabela 1.6 Evapotranspiração Potencial calculada segundo Hargreaves

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm	168 3	141 9	129 4	108 2	115 8	118	147 6	175 7	178 9	192 8	187 8	189 4	1853 8

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em outubro (192 mm) O trimestre abril/maio/junho possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em abril com 108 mm

1.2.2 - Balanço Hídrico

O princípio da conservação da massa à água aplicado a um determinado local ou área (em um dado volume de controle), nos fornece a diferença entre o ganho (precipitação) e o consumo (escoamento superficial e profundo, evaporação ou evapotranspiração) Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather em 1955, e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para um estudo mais apurado

Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm (PERH, 1990)², obtém-se a tabela 1 7

²PERH, 1990. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ.

Tabela 1.3 Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather

Mês	P (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	Neg (mm)	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	66	168 3	-102 30	0 00	0 00	0 00	66 00	102 30	0 00
Fev	115 9	141 9	-26 00	26 00	0 00	0 00	115 90	26 00	0 00
Mar	205 7	129 4	76 30	27 00	76 30	76 30	129 40	0 00	0 00
Abr	182 7	108 2	74 50	0 00	100 00	23 70	108 20	0 00	50 80
Mai	95 7	115 8	-20 10	20 10	81 00	-19 00	114 70	1 10	0 00
Jun	37	118	-81 00	101 10	35 00	-46 00	83 00	35 00	0 00
Jul	16 5	147 6	-131 10	232 20	9 00	-26 00	42 50	105 10	0 00
Ago	2 7	175 7	-173 00	405 20	2 00	-7 00	9 70	166 00	0 00
Set	2 5	178 9	-176 40	581 60	0 00	-2 00	4 50	174 40	0 00
Out	1 5	192 8	-191 30	772 90	0 00	0 00	1 50	191 30	0 00
Nov	5 1	187 8	-182 70	955 60	0 00	0 00	5 10	182 70	0 00
Dez	16 8	189 4	-172 60	1128 20	0 00	0 00	16 80	172 60	0 00
ANO	748 10	1853 80	-1105 70		303 30	0 00	697 30	1156 50	50 80

Segundo esta classificação, o elemento determinante do clima é a evapotranspiração, além da característica pluviométrica e térmica. Os dados para a área de estudo, mostram um clima semi-árido, tipo D, com índice de umidade variando entre -20% e -40%, sub-tipo d, com pequeno ou nenhum excesso de água, tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (DdA'a')

1.3 - MEIOS DE COMUNICAÇÃO

Existe em Paramoti uma agência dos Correios e Telégrafos, um posto da Teleceará, cerca de quinze telefones públicos e quase cento e cinquenta terminais de telefone de uso privado

1.4 - SANEAMENTO BÁSICO

De acordo com a CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará, existem cerca de 850 (oitocentos e cinquenta) ligações de água na cidade Paramoti. O volume diário produzido de água tratada é de quase 500m³, porém já estão fazendo racionamento vez que a fonte de captação (poço amazonas) está sendo explorado no seu limite máximo. Somente a sede possui sistema de distribuição d'água, enquanto os demais povoados se abastecem através de poços e cacimbas, os quais não oferecem nenhuma garantia a população.

Com relação ao esgotamento sanitário, este é feito através de fossas rudimentares e sumidouros, não existindo portanto nenhum tipo de rede pública de coleta.

A limpeza pública é feita através de caminhões de coleta de lixo da Prefeitura Municipal.

1.5 - ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com os dados obtidos no IPLANCE, em 1994 a distribuição do fornecimento de energia elétrica era a seguinte

TABELA 1.1 - ENERGIA ELÉTRICA (1994)

CLASSES	CONSUMO (mwh)	CONSUMIDORES
Total	1 368	910
Residencial	434	758
Industrial	314	3
Comercial	97	91
Rural	67	17
Público	455	40
Outros	1	1

FONTE IPLANCE

1.6 - DEMOGRAFIA

De acordo com o censo demográfico de 1996, realizado pelo IBGE, a população total do município Paramoti é de 11 304 habitantes. A Tabela 1.2 apresenta uma distribuição temporal desta população

TABELA 1.2 - DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA POPULAÇÃO DE PARAMOTI

DISCRIMINAÇÃO	ANO			
	1970	1980	1991	1996(1)
População total	10 628	9 783	10 447	11 304
Urbana	1 003	1 693	2 803	-
Rural	9 625	8 090	7 644	-
Homens	5 311	4 953	5 370	-
Mulheres	5 317	4 830	5 077	-
DENS. DEMOGRÁFICA (hab /Km ²)	15,38	14,16	15,12	16,36
TOTAL PEA (hab) (2)	3 134	3 133	3 132 (3)	-
Primário	2 761	2 035	1 043 (3)	-
Secundário	59	279	580 (3)	-
Terceário	314	819	1 509 (3)	-

FONTE IBGE

(1) Com relação a este censo somente o dado da população total está disponível

(2) Inclusive pessoas procurando trabalho

(3) Estimativa (1990)

1.7 - DOMICÍLIOS

De acordo com o IBGE (1991) a situação dos domicílios no município Paramotí era a seguinte

TABELA 1.3 - SITUAÇÃO DE DOMICÍLIOS - PARAMOTÍ

CARACTERÍSTICAS	N ^{os} ABSOLUTOS
- DOMICÍLIOS (TOTAL)	2 148
Urbano	623
Rural	1 525
- MORADORES (TOTAL)	10 447
Urbano	2 803
Rural	7 644
- ABATECIMENTO D'AGUA (TOTAL)	2 148
Com canalização interna	345
Sem canalização interna	1 803
- INSTALAÇÃO SANITÁRIA	
Rede geral	
Fossa septica	2
Outro tipo	793
não tem	1 353
- DESTINO DO LIXO	
Coletado	422
Queimado	1
Outros	1 725

FONTE: IBGE

1.8 - RELEVO

A área do município de Paramoti apresenta-se em seu aspecto geral na unidade geomorfológica denominada Superfícies de Pediplanação” tendo um relevo variando de plano a ondulado. Estas são áreas resultantes de um sistema erosivo intenso, arrasando e modelando grandes extensões sob condições de clima semi-árido. Nestas áreas as unidades de mapeamento são constituídas de associações onde predominam os solos relacionados a seguir: Bruno Não Calcico, Bruno Não Calcico Vértico, Planosol Solódico, Solos Litólicos Eutróficos e Distróficos, Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico, Solonetz Solodizados, Regosol Eutrófico e Distrófico, Terra Rocha Estruturada Similar Eutrófica Podzólica e Afloramentos de Rocha.

1.9 - GEOLOGIA

As principais unidades estratigráficas encontradas nesta região são originadas do Pré-Cambriano Inferior e Médio (Rochas do Embasamento Cristalino). O calcário é o principal recurso mineral por ali encontrado.

1.10 - RECURSOS HÍDRICOS

Toda a área do município faz parte da bacia hidrográfica do Rio Curú. Vale ressaltar que o Rio Canindé passa bem próximo a cidade. A Tabela 1.4 apresenta o nível de açudagem atual estimado.

TABELA 1.4 - NÍVEL DE AÇUDAGEM ATUAL ESTIMADO

DIMENSÃO DO AÇUDE	NÚMERO DE AÇUDES	VOLUME TOTAL ARMAZENA-
0 - 100	6	392
100 - 500	29	6 169
500 - 1 000	4	2 913
1 000 - 3 000	1	1 143
3 000 - 10 000	-	-
> 10 000	-	-
TOTAL	40	10 617

FONTE: Secretana dos Recursos Hídricos

Com relação as reservas de água subterrânea a tabela 1.5 apresenta uma caracterização destes aquíferos

TABELA 1.5 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS AQUÍFEROS EXISTENTES

AQUÍFERO	Nº DO POÇOS CADASTRADOS	DISPONIBILIDADE ATUAL (m ³ /ano)	RESERVAS EXPLORÁVEIS (m ³ /ano)		CARACTERÍSTICAS DOS POÇOS	
			TOTAL	C/ RESTRIÇÃO DE QUALIDADE	PROF MÉDIA (m)	VAZÃO MÉDIA (m ³ /h)
ALUVIÃO	2	63 072	183 671	163 304	13,3	7,2
MATAMORFICA	16	163 812	1 164 960	349 488	61,8	2,7

1.11 - ECONOMIA

De acordo com o IPLANCE a renda per capita deste município em 1993 era de apenas R\$ 71,00 (setenta e um reais) e a renda interna era de 755.000,00 (setecentos e cinquenta e cinco mil reais)

As principais fontes de renda é o comércio, e o Fundo de Participação dos Municípios

2 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

2 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

2.1 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

A pluviometria do Estado foi detalhadamente analisada por ocasião do PERH (Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 1990), sendo esta análise iniciada com a coleta dos registros inventariados e atualizados até 1988 pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste) Esta etapa foi seguida por várias outras, entre as quais destaca-se, para os fins deste trabalho a caracterização do regime pluviométrico em vários intervalos de tempo e o estabelecimento da série pluviométrica média para as bacias hidrográficas dos açudes de médio e grande porte

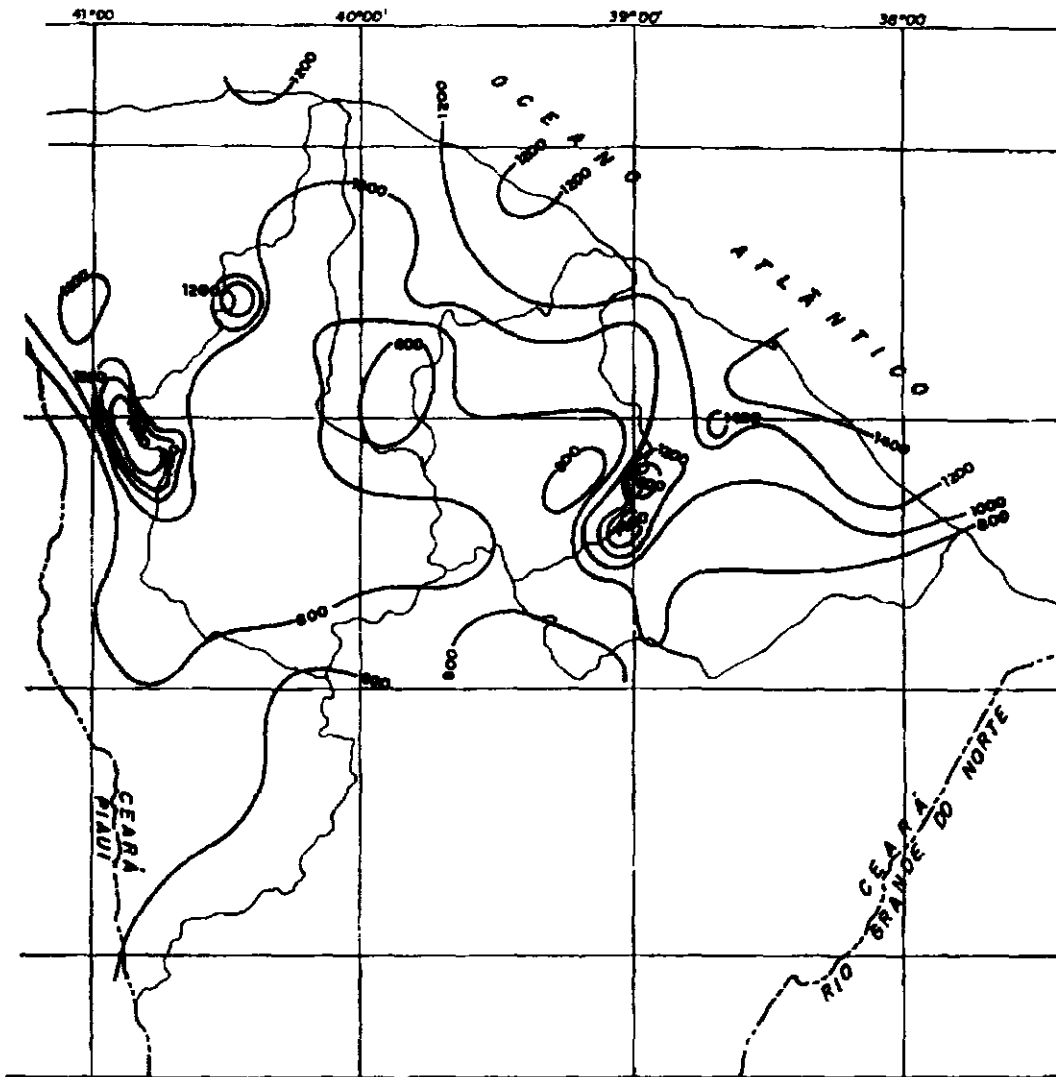


Figura 2.1 Mapa de isoietas médias anuais

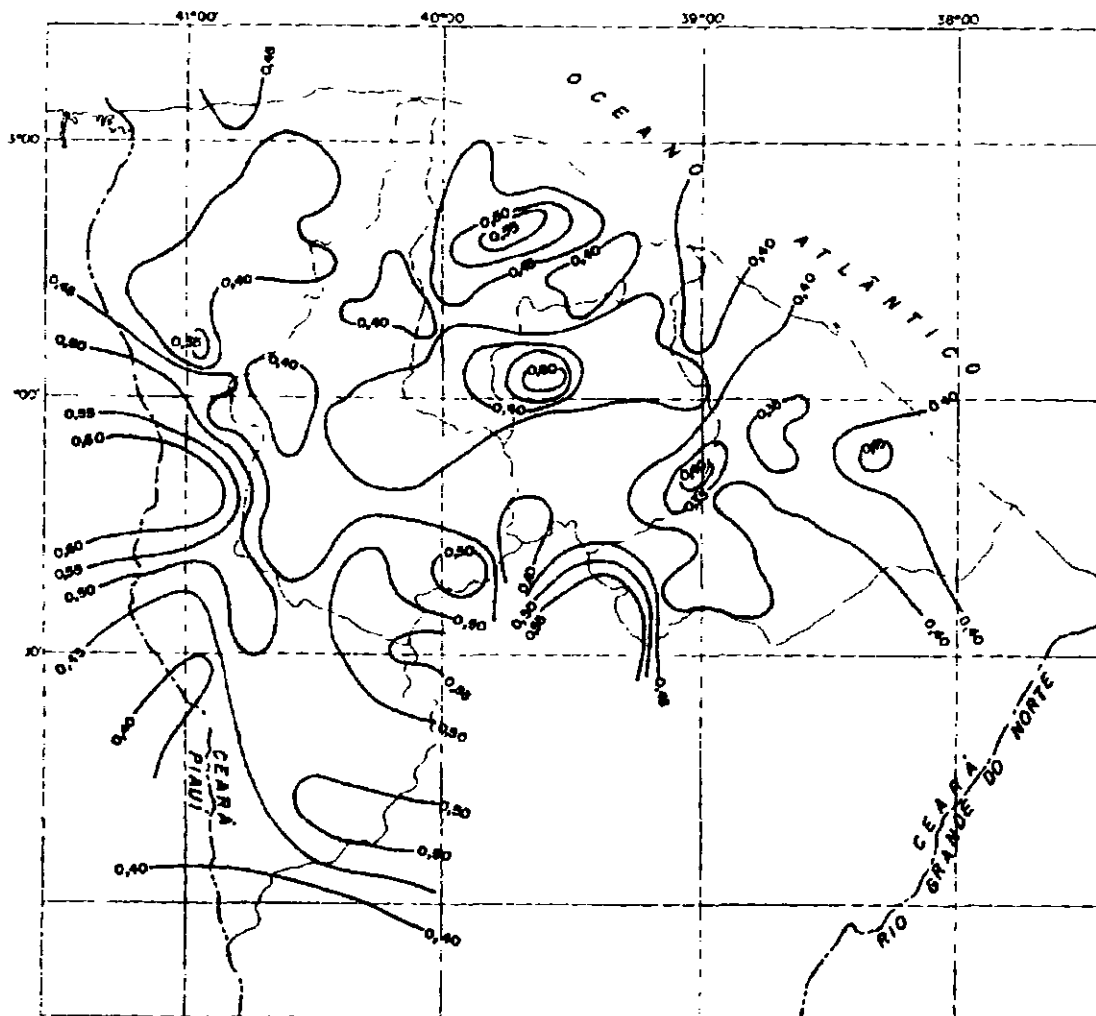


Figura 2.2 - Mapa de iso-cv

2.1.1 Dados Utilizados

A série pluviométrica utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Vetor Regional (HIEZ, 1978) por ocasião do PERH (1990), destinado à identificação de inconsistências nas série histórica. Estas incon-

sistências podem ser originadas por erros de observação, podendo tais erros ocorrerem sistematicamente ou isoladamente em um certo período

Foram utilizados cinco postos neste estudo. Na estimativa dos dois vetores regionais, um a nível anual e o outro a nível mensal, estes postos foram incluídos nos grupos regionais Canindé e Pentecoste (PERH, 1990) por apresentarem médias dos totais anuais mais próximas, além de estarem localizados em regiões de pouca variação de altitude

Inicialmente foi considerado o intervalo anual, para o qual analisou-se as duplas massas entre a pluviometria anual e a série sintética obtida a partir do vetor regional associado. Esta análise permite a identificação de anomalias, ou seja, valores que divergem do padrão, este definido com base na informação de todos os postos pelo princípio da máxima verossimilhança

A seguir prossegue-se com a análise, à nível mensal, utilizando o vetor regional mensal, buscando os meses que apresentam desvios consideráveis para aqueles anos de desvios consideráveis em relação ao valor sintético, sendo corrigidos os de maior contribuição para o desvio a nível anual. Os valores diários são compatibilizados pelo princípio da desagregação nos meses que sofreram a correção. Para maiores detalhes, consultar o PERH - SRH, 1990 - Relatório Geral - Diagnóstico. A tabela 2.1 mostra os postos pluviométricos utilizados no presente estudo que compõem os grupos regionais mencionados anteriormente, ou seja, aqueles utilizados na formação do Vetor Regional

Tabela 2.1 - Postos utilizados consistidos pelo método do Vetor Regional

POSTO	CÓDIGO	COORDENADAS		ALTITUDE (m)
		LATITUDE	LONGITUDE	
Grupo Pentecoste				
General Sampaio	2881006	04°02'	39°29'	100
Grupo Carindé				
Parafuso	2880572	04°16'	39°39'	190
Ubiraçu	2880871	04°24'	39°39'	300
Itatira	2890078	04°32'	39°37'	450
Salvação	2881504	04°15'	39°29'	200

Fonte PERH (1990)

2.1.2 - Caracterização do Regime Pluviométrico

a) Nível Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas figuras 2.1 e 2.2. A área de estudo apresenta, segundo análise destas figuras, média pluviométrica abaixo de 800 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40.

Abaixo, na tabela 2.2, é mostrada um resumo dos parâmetros característicos anuais para o posto do açude General Sampaio, considerado como representativo da área estudada.

Tabela 2.2 - Análise de Frequência dos Totais Anuais (mm)

CÓDIGO	MÉDIA mm	PERÍODOS DE RETORNO (anos)								
		1	5	10	20	50	80	90	98	99
2881006	793	248	310	343	437	479	737	1020	1194	1548

b) Nível Mensal

A análise da distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a mais de 90% do total anual

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde constata-se que 67% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano, no trimestre Fevereiro/Março/Abril ou no trimestre Março/Abril/Maio. Neste trimestre o mês de março corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 27% do total anual

Na tabela 2.3 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que na tabela 2.4 apresenta-se um resumo da análise de frequência utilizando a série de totais mensais para o mês mais chuvoso nos postos considerados. Os períodos de retorno utilizados variam de 2 a 100 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Log-Pearson III. Já a tabela 2.5 mostra as médias mensais para os postos pluviométricos utilizados neste estudo

Tabela 2.3 - Índices de Concentração Pluviométrica. Série de Valores Médios Mensais.

Código	Mês mais chuvoso			Tnm mais chuvoso			Sem Mais chuvoso		
	Mês	mm	%Tot	Tnm	mm	%Tot	Sem	Mm	%Tot
2881504	MARÇO	183,5	27,3	FMA	456,6	67,9	1	609,7	93,0
2881006	MARÇO	205,7	27,4	FMA	504,5	66,1	1	717,8	94,1
2880572	MARÇO	195,6	28,3	FMA	474,2	68,2	1	670,5	94,7
2880871	MARÇO	229,4	27,1	FMA	570,3	67,3	1	780,1	91,5
2890078	MARÇO	196,8	23,1	MAM	531,4	62,7	1	759,1	89,6

%Tot = Percentagem do total anual

**Tabela 2.4 - Análise de Frequência-Nível Mensal (mm) para o mês mais chuvoso
Distribuição Log-Pearson III.**

CÓDIGO	Média	Desvio Padrão	PERÍODOS DE RETORNO					
			2	5	10	20	50	100
2881006	206,1	92,9	192,9	296,8	359,4	414,2	478,1	521,2

**Tabela 2.5 Pluviometria média mensal nas estações da bacia do açude
General Sampaio**

Código	Estação	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
2880572	Parafuso	67,3	111,2	197,2	165,9	83,1	25,6	10,9	2,2	0,8	2,2	1,3	18,5	686,2
2880871	Ubiracu	72,7	138,8	222,5	193,2	96,2	39,7	23,9	6,4	2,2	4,9	8,6	26,5	835,6
2881006	G Sampaio	66,0	155,2	206,1	184,2	97,9	38,3	16,8	2,8	2,6	1,6	5,2	17,2	793,9
2890078	Itatira	44,6	95,8	189,9	194,7	139,5	76,6	40,7	12,6	4,0	3,3	5,3	21,3	828,3
2881504	Salvação	49,7	100,8	183,3	167,8	90,0	28,3	10,0	2,1	1,3	1,8	5,4	19,7	660,2

2.2 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS

O objetivo básico deste capítulo consiste na definição das séries de vazões afluentes ao açude General Sampaio. Estas séries fluviométricas se-

rão utilizadas como base para estudos direcionados à avaliação da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica em questão

2.2.1 - Metodologia

No caso particular da bacia do rio Curu, existe apenas um posto fluviométrico com dados considerados confiáveis. Já para a pluviometria foram usados os cinco postos apresentados na seção anterior. Resta então aplicar um modelo de transformação chuva-vazão, o qual permite, a partir de séries pluviométricas e de valores dos parâmetros deste modelo, gerar séries de deflúvios para a região de interesse. Estas informações serão utilizadas para alimentar o modelo MODHAC³, o qual utiliza dados de precipitação média diária. O esquema do referido modelo está apresentado na figura 2.3

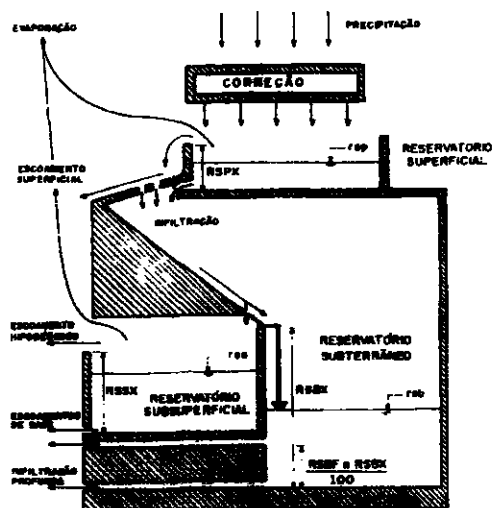


Figura 2.3 - Representação esquemática do MODHAC

MODHAC - Modelo Hidrológico Auto Calibravel - A.E.L. Lanna & M. Schwarzbach - 1989. Publicação de Recursos Hídricos 21 - Instituto de Pesquisas Hidráulicas I.P.H. - U.F.R.G.S.

Av. Santos Dumont, 1687 - Sala 783 - Aldeota - Fortaleza-CE - CEP 60.150-160 - Fone (Fax) (085) 264-37-41
CGC 00.647.330/0001-30 - INSC MUNICIPAL Nº 125.364-6

O modelo MODHAC é composto de três reservatórios fictícios dispostos em séries, cada um com seus parâmetros de ajuste próprios. Estes reservatórios fictícios serão descritos, resumidamente, a seguir:

1 RESERVATÓRIO SUPERFICIAL permite simular os processos de interceptação da água pela vegetação, o armazenamento nas depressões impermeáveis e semi-permeáveis do solo. Seus parâmetros são:

RSPX: capacidade máxima do reservatório superficial, e

ASP: expoente utilizado para determinar a lei de esvaziamento deste reservatório, proporcional à permeabilidade do reservatório.

2 RESERVATÓRIO SUB-SUPERFICIAL: permite representar a água armazenada dentro do solo, desde a superfície do terreno até a profundidade radicular das plantas. A recarga deste reservatório é a infiltração e as descargas são o escoamento hipodérmico, evaporação do solo e a evapotranspiração das plantas. São seus parâmetros:

RSSX: capacidade máxima do reservatório sub-superficial, e

ASS: expoente utilizado para determinar a lei de esvaziamento deste reservatório, proporcional a permeabilidade das camadas mais superficiais do solo.

3 RESERVATÓRIO SUBTERRÂNEO: representa o armazenamento da água nas camadas mais profundas do solo onde não existe nem evapotranspiração das plantas, nem evaporação do solo. A recarga deste re-

servatório é a percolação profunda do reservatório sub-superficial e a descarga é o escoamento de base. Seus parâmetros são

RSSB: capacidade máxima do reservatório subterrâneo. e

ASB: expoente utilizado para determinar a lei de esvaziamento deste reservatório, proporcional à transmissividade das camadas mais profundas do solo

Além destes coeficientes próprios de cada reservatório fictício, existem outros que permitem representar as características do solo e da evaporação

São eles

IMIN: infiltração mínima observada.

IMAX: representa a capacidade de percolação de todo o horizonte do solo,

IDEC: parâmetro que permite representar uma gama de valores compreendida entre o ponto onde não existe infiltração e o ponto que representa toda a água infiltrada, e

CEVA: parâmetro da lei de evapotranspiração do solo

2.2.2 - Dados Necessários

Os dados necessários para a calibração do MODHAC são pluviometria diária, séries fluviométricas mensais/diárias e evapotranspiração potencial

Foram utilizados os parâmetros obtidos no PERH, que utilizou os dados fluviométricos da estação de São Luiz do Curu. É importante notar que

os períodos de observação dos dados deste posto (1969-1972 e 1977-1988) são posteriores à construção dos três maiores açudes da bacia (General Sampaio, Caxitoré e Pentecoste) A calibração do MODHAC por ocasião do PERH considerou a influência destes reservatórios nas vazões observadas em São Luiz do Curu. Obteve-se, assim, uma série de vazões na bacia do rio Curu na seção a montante do açude General Sampaio.

2.2.3 - Ajuste do Modelo e Resultados Obtidos

Com os valores dos parâmetros obtidos pela calibração do MODHAC para a bacia do rio Curu em São Luiz do Curu, foi possível gerar séries de vazões a partir de séries de precipitações, e com extensão igual destas últimas. A lâmina média escoada, no período de calibração, foi de 161,3 mm enquanto que o coeficiente de deflúvio foi de 19,7%. A tabela 2.6 apresenta os parâmetros obtidos na calibração automática do modelo MODHAC na estação São Luis do Curu.

Tabela 2.6 - Parâmetros Utilizados pelo Modelo MODHAC - Calibração.

RSPX mm	RSSX mm	RSBX	RSBF	IMAX mm/ dia	IMIN mm/ dia	IDEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA
São Luis do Curu											
85,3	182,5	0,0	0,0	16,14	4,26	0,5404	0,001	0,6276	-	-	0,31

2.2.4 - Geração da Série de Vazões

Utilizando os parâmetros obtidos da calibração (tabela 2.6), gerou-se com o MODHAC série de vazões correspondente à série de precipitação média sobre a bacia do açude General Sampaio. As características da série gerada a partir dos parâmetros do MODHAC são as seguintes:

- lâmina média escoada = 136,7 mm
- coeficiente de deflúvio = 17 %

Abaixo é mostrada a tabela 2.7 com os valores dos deflúvios médios mensais, em milímetros, sobre a bacia hidrográfica do açude General Sampaio, cuja área é de 1574km²

Tabela 2.7 - Série de deflúvios médios mensais (mm) da bacia do açude General Sampaio

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1912	0,00	25,73	87,20	71,72	68,35	24,54	3,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	281,19
1913	0,00	78,90	32,77	13,51	6,03	2,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	133,29
1914	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
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	0,00
1916	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
1917	0,00	0,09	91,12	34,60	15,44	27,17	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170,85
1918	0,00	0,00	0,00	2,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,26
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	59,11	55,44	32,77	14,83	1,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	163,37
1921	0,00	0,00	74,10	87,67	131,05	42,95	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	339,52
1922	0,00	0,00	0,00	37,96	61,28	23,85	2,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	125,50
1923	0,00	0,00	27,96	18,80	15,43	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	64,01
1924	0,09	10,99	33,92	234,61	139,85	58,90	19,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	497,85
1925	0,00	0,00	0,00	71,59	58,02	9,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	138,80

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1926	0,00	0,00	62,25	69,75	33,73	10,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	175,78
1927	0,00	0,00	0,00	3,89	3,22	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,40
1928	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
1929	0,00	4,48	53,34	70,44	32,43	9,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	170,60
1930	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
1931	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27
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	0,00
1933	13,89	6,14	0,01	111,75	35,49	3,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	171,20
1934	0,00	6,92	93,79	65,90	27,63	10,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	204,65
1935	0,00	20,82	52,44	152,20	106,72	39,84	9,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	381,50
1936	0,00	6,92	6,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,67
1937	0,00	0,00	0,00	59,49	13,32	3,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	76,34
1938	0,00	0,00	87,78	49,36	30,77	6,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	173,93
1939	0,00	0,00	71,79	21,88	6,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,04
1940	0,00	0,76	38,31	76,99	81,21	39,07	14,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	250,63
1941	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
1942	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
1943	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
1944	0,00	0,00	19,54	45,51	27,17	10,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	103,20
1945	0,00	39,37	39,83	56,25	48,82	18,81	3,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	206,94
1946	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
1947	0,00	0,00	20,73	21,05	25,35	3,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	70,85
1948	0,00	0,00	12,06	11,60	5,18	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,51
1949	0,00	0,00	17,26	41,14	45,52	7,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	111,77
1950	0,00	0,00	31,14	160,29	54,18	16,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	262,03
1951	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
1952	0,00	0,00	0,00	14,08	18,09	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,27
1953	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
1954	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
1955	0,00	0,00	0,00	58,32	41,15	12,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	111,83
1956	0,00	0,00	7,14	49,95	8,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,72

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1957	0,00	0,00	52,18	73,57	29,69	4,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	159,46
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	0,00	0,00	0,00	13,87	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,85
1960	0,00	0,00	50,77	53,20	38,05	8,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	150,50
1961	0,00	85,03	91,35	132,74	56,54	14,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	379,92
1962	0,00	0,00	4,94	33,64	12,52	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	52,28
1963	0,00	0,00	138,46	117,17	45,01	5,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	306,08
1964	0,00	42,69	116,10	87,38	47,72	16,18	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	310,30
1965	0,00	0,00	7,75	152,34	65,67	28,10	5,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	259,22
1966	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
1967	0,00	8,68	95,85	116,38	66,67	20,70	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	308,33
1968	0,00	0,00	43,01	42,64	111,36	33,64	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	231,72
1969	0,00	0,00	0,00	27,75	9,78	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,56
1970	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
1971	0,00	0,00	0,00	43,11	34,60	28,72	3,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	109,95
1972	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
1973	0,00	0,00	14,20	39,84	49,43	32,64	8,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	144,35
1974	48,94	38,15	83,76	177,62	175,20	78,26	20,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	621,98
1975	0,00	0,00	30,11	19,43	115,39	27,77	7,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	199,84
1976	0,00	12,81	65,45	24,56	9,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	112,18
1977	0,00	0,00	12,11	92,89	65,21	24,47	5,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	200,28
1978	0,00	19,41	3,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	23,02
1979	0,00	0,00	0,00	0,00	2,91	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,23
1980	0,00	14,00	102,71	12,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	129,14
1981	0,00	0,00	111,32	67,39	11,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	190,28
1982	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
1983	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
1984	0,00	0,00	20,55	72,51	97,78	34,48	3,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	229,15
1985	0,00	61,99	217,28	199,39	146,67	66,14	19,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	711,44
1986	0,00	41,01	148,64	169,95	86,42	49,40	8,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	503,98
1987	0,00	0,00	78,94	35,32	11,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	125,51

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1988	0,00	0,00	11,08	161,77	155,32	41,43	3,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	372,84
MÉDIA	0,83	6,82	32,73	48,32	34,17	11,93	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	136,73
Desvio Padrão	5,78	17,17	44,56	56,11	43,05	17,42	4,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	153,72
C V													1,12

2.3 – ESTUDO DO RESERVATÓRIO

2.3.1 - Introdução

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório está ligada ao conhecimento da capacidade desta obra de provocar mudanças em termos temporais e espaciais dos deflúvios naturais, condicionando-os às necessidades da sociedade. Busca-se avaliar a garantia ou confiabilidade do atendimento das demandas requeridas ao longo do tempo. Em seguida é analisada, de forma probabilística, a disponibilidade hídrica face a algumas alternativas de operação.

2.3.2 - Capacidade de regularização

Na determinação do valor da vazão garantida do reservatório foram utilizados dois métodos, a saber:

- solução direta da equação de balanço hídrico, a nível anual, através do método de Campos(1990)¹,
- regra de operação do PERH, a nível mensal,

a) Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico a nível anual

A equação do balanço hídrico de um reservatório pode ser dada por

$$Z_{t+1} = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M - S_t$$

com

$$S_t = \max(B - K, 0)$$

$$B = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M$$

onde

Z_t = volume armazenado no início do ano t ,

I_t = volume afluente ao reservatório durante o ano t ,

A_t = área do espelho d'água no início do ano t ,

E = lâmina evaporada durante o ano t , suposta constante ao longo dos anos.

K = capacidade do reservatório.

S_t = volume perdido por sangria durante o ano t

Representando-se a bacia hidrográfica por

$$Z(h) = \alpha h^3 \quad \text{e} \quad A(h) = 3 \alpha h^2$$

h - altura d'água α - fator de forma (obtido por regressão entre z e h^3)
 supondo um modelo mutuamente exclusivo com volume contínuo e uma série de vazões afluentes com uma extensão de 2000 anos seguindo uma distribuição Gamma de 2 parâmetros, pode-se resolver a equação de balanço hídrico segundo o processo descrito por CAMPOS (1990), a saber

1 estabelece-se um valor inicial para a retirada M .

2 considera-se um volume inicial igual $\text{MIN}(0,5 K, 0,5 m)$,

3 Calcula-se

$$Z_u = Z_t + I_t \quad p / Z_t + I_t \leq K$$

$$Z_u = K \quad \text{caso contrário}$$

$$D_s = \text{MAX}(Z_t + I_t - K, 0)$$

onde Z_u é o volume armazenado no final da estação e D_s o volume sangrado no ano t

4 Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por

a) divide-se M e E em L partes (no caso $L=6$),

b) retirada da reserva, se disponível, de M/L

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_2 = Z_1 - M / L \quad \text{se } Z_1 - M / L > Z_{\text{MIN}}$$

$$Z_2 = Z_{\text{MIN}} \quad \text{caso contrário (ANO FALHO)}$$

$$Z_{\text{MIN}} = \text{MAX}(0,05 K, 0,20 \mu)$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_2 = \left(\frac{Z_2}{\alpha} \right)^{1,3}$$

c) retirada da reserva, se disponível, de E/L

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_3 = h_2 - E / L \quad \text{se } h_2 - E / L \geq 0$$

$$h_3 = 0$$

caso contrário

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_3 = \alpha h_3^3$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

- d) retorna-se a b) até completar as L fases da integração
- 5 Prossegue-se com os passos 3 e 4 até que se complete os 2000 anos da série gerada, totalizando os volumes evaporado, sangrado e liberado,
- 6 Concluído os 2000 anos, verifica-se se a frequência de falha está entre 9,95 e 10,05%, ou se o erro em retirada é menor do que 0,5 unidades. Caso afirmativo aceita-se o valor de M, caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1

b) Simulação utilizando a regra de operação do PERH

Devido a ocorrência de falhas em longos períodos de liberações de vazão, no PERH-CE (Plano Estadual de Recursos Hídricos - Ceará) estabeleceu-se o conceito de volume de alerta. Assim, na operação do reservatório, retira-se uma vazão Q_{90}^A (vazão regularizada com 90% de garantia com volume de alerta) constante enquanto o volume do reservatório estiver acima do volume de alerta. Ao atingir o volume de alerta, retira-se uma vazão de emergência, $Q_{emerg} < Q_{90}^A$, capaz de garantir o fornecimento em grande par-

cela dos períodos considerados como secos. A representação deste volumes encontra-se esquematicamente representada na Figura 2.4 abaixo

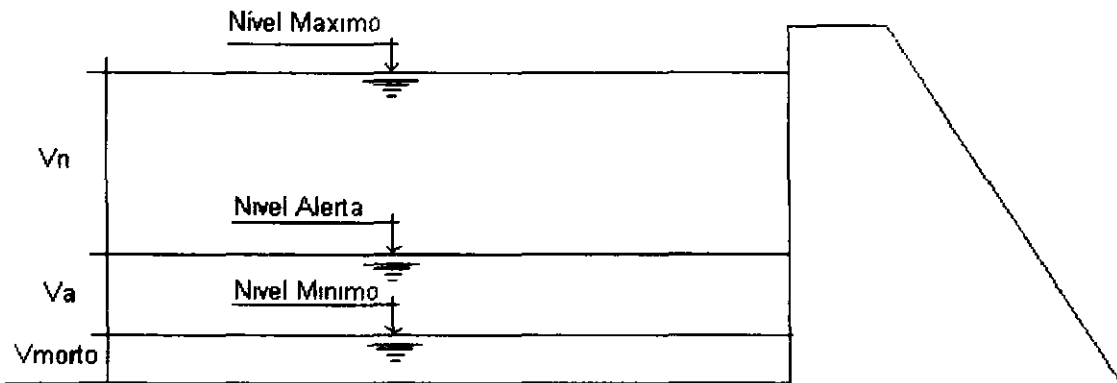


Figura 2.4 - Representação Esquemática dos Níveis Operacionais

Ainda segundo o PERH-CE, o fornecimento desta vazão de emergência se dá em 80% do total do período seco (onde ocorrem as falhas). Foi realizada uma operação com uma demanda de emergência igual a 50% de Q90.

2.3.3 - Resultados

As características do escoamento estabelecidas no estudo de deflúvios pelo uso do MODHAC foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber

- lâmina média escoada 136,7 mm
- volume afluente médio escoado (m) 215,166 hm³
- coeficiente de variação (CV) 1,12

Para aplicação do método faz-se necessário a determinação do fator de forma (a), da lâmina evaporada (E) e do fator adimensional de evaporação (f_E) e de capacidade (f_k)

$$a = 9558.9 \quad E = 996 \text{ mm}$$

$$f_L = \frac{3 a^{1.3} E}{\mu^{1.3}} \quad f_E = 0,11$$

Com base nestes valores utilizou-se a solução direta da equação do balanço hídrico para o estudo da capacidade de regularização do açude General Sampaio. Na Tabela 2.8 apresenta-se o percentual e valor correspondente do volume regularizado, evaporados e sangrados em função de f_k .

Tabela 2.8 - Regularização do reservatório General Sampaio com 90% de Garantia

Cota m	K Hm3	$f_k = K/m$	%LIB	LIB hm3/ano	%EV	EV hm3/ano	%SG	SG hm3/ano	Q90 m3/s
124,51	322,2	1,49	42,8	93,548	9,3	20,302	47,9	104,711	3,16

LIB - VOLUME LIBERADO SG - VOLUME SANGRADO EV - VOLUME EVAPORADO

A regra de operação do PERH foi utilizada também, simulando-se, a nível mensal, o balanço hídrico do reservatório com os dados de vazão afluente calculados no estudo de deflúvios. Os resultados destas simulações estão resumidos na Tabela 2.9, abaixo. Os resultados obtidos para a garantia de 90% são menores que os obtidos pela solução direta do balanço hídrico. Deve-se levar em conta que a definição de um volume de alerta para uma

vazão de emergência igual a 50% da vazão normal é uma restrição que não foi considerada no balanço a nível anual

Tabela 2.9 - Estudo da capacidade de regularização do Reservatório General Sampaio utilizando a regra de operação do PERH

COTA (m)	VOL MAX (hm3)	VOL UTIL (hm3)	VOL ALERTA (hm3)	Q_{90}^A (m3/s)
124,51	322,2	313,7	63,4	2,86

Q_{90}^A - vazão regularizada com 90% de garantia com volume de alerta

2.3.4 - Estudo da Disponibilidade Hídrica

O estudo da disponibilidade hídrica do reservatório General Sampaio compreende o estudo das probabilidades de enchimento, esvaziamento e extravazamento do reservatório. Este estudo pode ser realizado diante de duas óticas: na fase transiente, quando essa probabilidade depende do volume inicial do reservatório, na fase de equilíbrio, quando o processo estocástico de armazenamento torna-se ergódico. A metodologia aqui empregada tem suporte teórico na teoria estocástica de reservatórios ou Teoria de Moran⁴, apresentando como novidade a inclusão da matriz de evaporação para considerar as perdas por este processo - método de CAMPOS (1990).

As etapas de cálculo destas probabilidades para um reservatório de uma determinada capacidade e retirada são descritas a seguir:

1) dividir o volume total do reservatório K , por 20, definindo 21 estados que podem ser atingidos pela reserva. A representação gráfica do espaço de

definição destes estados de reserva é apresentada na figura 2.5 e na tabela 2.10

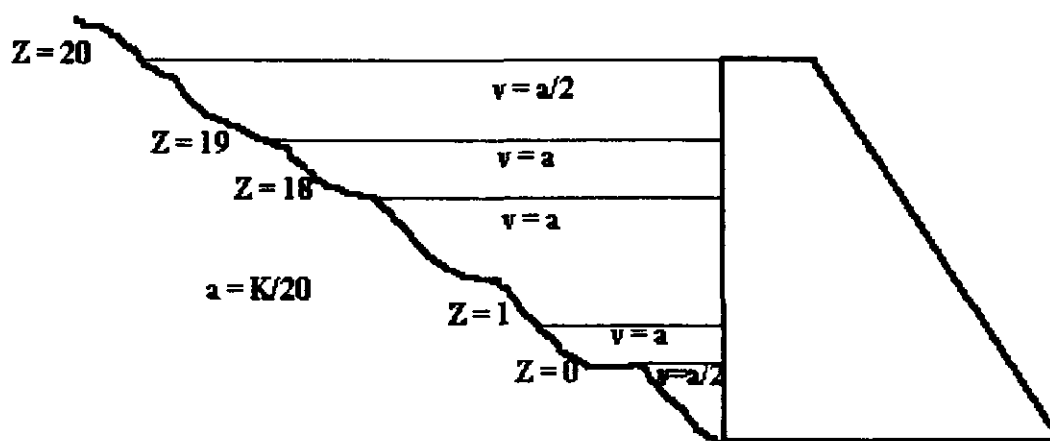


Figura 2.5 - Espaço de definição dos estados de reserva

Tabela 2.10 - Limite, em volume, dos estados de reserva

NÚMERO DO ESTADO (z)	LIMITES DE ARMAZENAMENTO	ARMAZENAMENTO NO ESTADO (2)
0	$0 < z \leq (1/2) a$	$z = \text{seco}$
1	$(1/2) a < z \leq (3/2) a$	$z = a$
2	$(3/2) a < z \leq (5/2) a$	$z = 2 a$
n-1	$(n-3/2) a < z \leq (n-1/2) a$	$z = (n-1) a$
N	$(n-1/2) a < z \leq K$	$z = \text{cheio}$

⁴ MORAN, P A P 1959 THE THEORY OF STORAGE LONDON METHUEN & CO LTD, 111 p

- 2 Calcular a matriz de transição de probabilidades devido aos deflúvios anuais [W] Supõe-se que os deflúvios seguem uma distribuição Gamma de dois parâmetros na estação úmida e com uma massa de probabilidades para a estação seca
- 3 Calcular a matriz de transição de probabilidades devido à metade da evaporação (E), supondo que a relação cota x área x volume é determinada por

$$Z(h) = \alpha h^3 \quad \text{e} \quad A(h) = 3 \alpha h^2,$$

onde h - altura do espelho d'água, a - fator de forma (obtido por regressão entre z e h³), A - área do espelho d'água a altura h e V - volume acumulado a altura h

- 4 Calcular a matriz de transição de probabilidades para uma retirada anual de M unidades de água [M].
- 5 Calcular a matriz de transição de probabilidade anual através do produto das matrizes parciais

$$[Q] = [E] [M] [E].[W]$$

- 6 Formar o sistema de equações para determinar a probabilidade de interesse

$$q_{00} p_0 + q_{01} p_1 + \dots + q_{0N} p_N = p_0$$

$$q_{10} p_0 + q_{11} p_1 + \dots + q_{1N} p_N = p_1$$

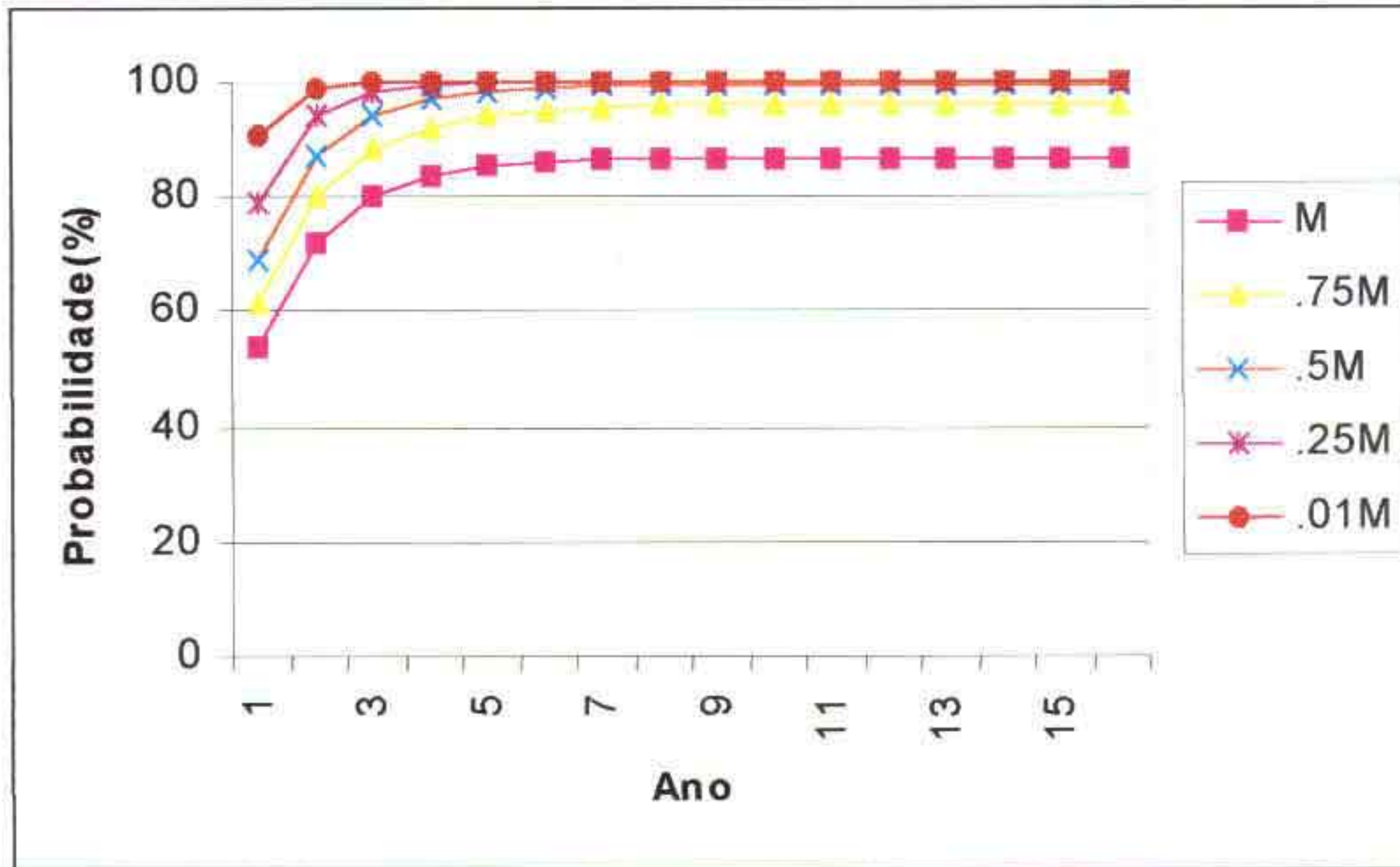
$$q_{N0} p_0 + q_{N1} p_1 + \dots + q_{NN} p_N = p_N$$

onde q_{ij} = probabilidade da reserva passar do estado i ao j em um ano e p_i = probabilidade da reserva atingir o estado i em condições de equilíbrio. Como o sistema acima não é homogêneo, uma de suas equações deve ser substituída por

$$p_0 + p_1 + \dots + p_N = 1$$

7 Resolver o sistema acima e calcular p_0 e p_N , respectivamente, a probabilidade do reservatório estar seco e cheio em condições de equilíbrio.

Através desta metodologia foram determinadas as curvas de probabilidade de enchimento do reservatório (inicialmente seco) na fase transiente considerando as retiradas de 0, $Q_{r90}/4$, $Q_{r90}/2$, $3 Q_{r90}/4$ e Q_{r90} (Tabela 2.11). Como pode-se observar pela figura 6.3, a retirada de Q_{r90} ao atingir o equilíbrio tem uma garantia de um pouco inferior de 90%, valor compatível com os resultados anteriores (volume anual regularizado com 90% de garantia). Na figura 2.6 apresenta-se as curvas de garantia para as retiradas de 1% de Q_{r90} , $Q_{r90}/4$, $Q_{r90}/2$, $3 Q_{r90}/4$ e Q_{r90} .



**Figura 2.6 - Análise Probabilística da Garantia do Reservatório - fase transiente
M = Qr90**

**Tabela 2.11 - Análise Probabilística do Enchimento do Reservatório na Fase
Transiente. Reservatório inicialmente seco.**

ANO	M	.75M	.5M	.25M	.01M
1	53.93	61.15	69.06	78.8	90.72
2	72.21	79.85	87.28	94.06	98.91
3	80.25	88.03	93.93	98.07	99.85
4	83.77	92.01	96.81	99.31	99.98
5	85.3	93.99	98.19	99.73	100*
6	85.97	94.97	98.89	99.89	100
7	86.27	95.46	99.25	99.95	100
8	86.39	95.7	99.44	99.98	100
9	86.45	95.83	99.53	99.99	100
10	86.48	95.89	99.58	100*	100
11	86.49*	95.92	99.61	100	100
12	86.49	95.93	99.62	100	100
13	86.49	95.94*	99.63	100	100
14	86.49	95.94	99.63	100	100
15	86.49	95.94	99.64*	100	100
16	86.49	95.94	99.64	100	100

M = Retirada anual (hm³) = 98,735hm³ = 3,16 m³/s

* início do estado de equilíbrio (independência das condições iniciais)

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, em equilíbrio, cerca de 42% dos anos ocorrem sangria para uma retirada anual de 98,375 hm³. A figura 2.7 apresenta as duas curvas probabilísticas (esvaziamento e enchimento), e a Tabela 2.12 os seus valores correspondentes. Na tabela 6.5 pode-se observar que para uma retirada igual a 98,375 hm³/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio de 10%, o que implica em uma garantia próxima a 90%. A vazão da adutora que abastecerá Paramoti (25,08 l/s) corresponde, aproximadamente, a 1% da vazão regularizada do açude General Sampaio com 90% de garantia, que é de 3160 litros por segundo. Analisando a curva probabilística de esvaziamento apresentada abaixo, pode-se notar claramente que, diante de uma retirada constante de 20hm³ ao longo de vários anos, no estado de equilíbrio, há uma probabilidade teoricamente nula de o reservatório esvaziar. Assim, a garantia prioritária da demanda hídrica para abastecimento humano da cidade de Paramoti fica praticamente assegurada, desde que a política de operação do reservatório seja conservadora.

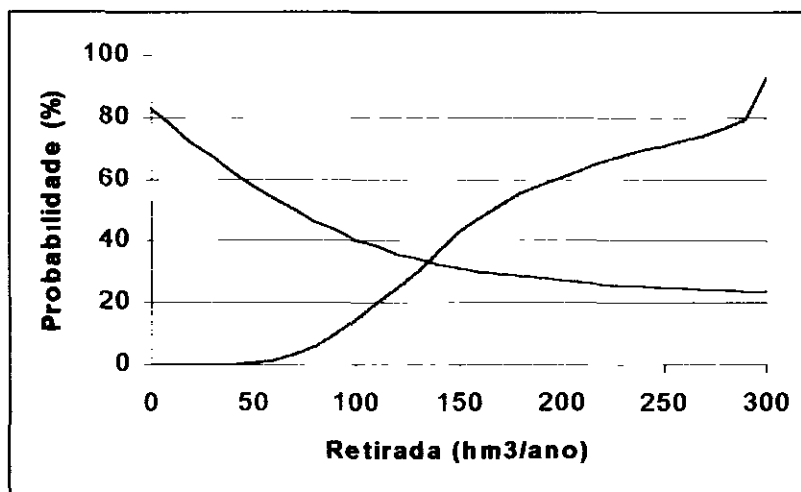


Figura 2.7 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

Tabela 2.12 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

RETIRADA(hm3/ano)	ESVAZIAMENTO(%)	ENCHIMENTO(%)
0	0	83
0.98375	0	82.5
10	0	77.6
20	0	72.4
30	0	67.4
40	0.1	62.6
50	0.4	58.1
60	1.4	53.9
70	3.1	49.9
80	5.7	46.4
90	9.6	43.3
100	14.4	40.5
110	20	38
120	24.9	35.9
130	29.8	34.1
140	36.6	32.5
150	42.6	31.2
160	47.5	30
170	51.6	29.1
180	55	28.3
190	57.8	27.8
200	60.4	27.2
210	63	26.6
220	65.3	26.1

RETIRADA(hm ³ /ano)	ESVAZIAMENTO(%)	ENCHIMENTO(%)
230	67,3	25,6
240	69,2	25,2
250	70,9	24,8
260	72,5	24,5
270	73,9	24,2
280	76,4	23,9
290	79,5	23,7
300	92,3	23,5
310	100	23,3

2.3.5 - Ficha Técnica da Barragem

AÇUDE GENERAL SAMPAIO

- Capacidade	322 200 000 m ³
- Localização	Município de General Sampaio - Ce
- Rio Barrado	Curu
- Sistema hidrografico	Curu
- Bacia hidrografica	1 574 km ²
- Bacia hidráulica	3 300 ha
- Volume morto	8 500 000 m ³
- Barragem	
• Altura máxima	37,60 m
• Largura maxima na base	197,80 m
• Extensão do coroamento	222 m
• Largura do coroamento	8 m
• Volume de terra	522 000 m ³
- Sangradouro	
• Tipo	Vertedouro
• Largura	150 m
• Revanche	4,0 m
• Cota	124,510
- Tomada d'água	
• Tipo	Galeria dupla
• Extensão	134,0 m
• Seção	1,80 m x 1,80 m
• Cota da soleira	103,00
• Aproveitamento previsto	Irrigação, controle de cheias e abastecimento d'água

Obs. Concluído em 1935

3 - ESTUDOS DEMOGRÁFICOS

3 - ESTUDOS DEMOGRÁFICOS

3.1 - GENERALIDADES

Estes estudos demográficos estão baseados nos quatro últimos censos realizados pelo IBGE (1970, 1980, 1991 e 1996)

De acordo com os termos de referência da S R H o alcance do plano deve ser de 20 (vinte) anos, portanto projetou-se a população ano a ano desde o início da operação (ano zero - 1 998) até o ano 2 018

3.2 - POPULAÇÃO BENEFICIADA

3.2.1 - ÁREAS ATENDIDAS

Propõe-se o abastecimento de toda a população urbana da sede de Paramotí e de cerca de 200 (duzentas) famílias residentes nos povoados que se encontram nas adjacências da estrada por onde vai passar a adutora que são Ramalhete, Campo Novo, Muquém, Água Boa, Lisboa, Ipueiras das Pedras, Cacimba Nova e Retiro

3.2.2 - PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO

a) SEDE MUNICIPAL

A taxa de crescimento geométrico adotada para se fazer a projeção da população da cidade de Paramotí foi de 5,03% ao ano. Este valor corresponde a uma média aritmética do que foi observado no período de 1970 a 1991, conforme pode ser observado na tabela 3 1

TABELA 3.1 TAXA DE CRESCIMENTO GEOMÉTRICO OBSERVADA ENTRE 1970 A1991

CIDADE PARAMOTÍ	PERÍODO			MÉDIA ARITMÉTICA
	1970/1980	1980/1991	1970/1991	
TAXA DE CRESCIMENTO GEOMÉTRICO	5,37	4,69	5,02	5,03

Com esta taxa de crescimento (5,03%) a população da cidade Paramotí em 1997 é de 3763 habitantes

A fim de se checar este número foi feita uma contagem direta do número de edificações existentes, resultando no valor de 800 unidades

A tabela 3.2 mostra a evolução populacional da sede do município desde 1997 (início do plano) até o ano 2017 (final do plano)

TABELA 3.2 EVOLUÇÃO POPULACIONAL DA CIDADE PARAMOTÍ

ANO	POPULAÇÃO	ANO	POPULAÇÃO
1997	3 763	2008	6 456
1998	3 952	2009	6 780
1999	4 151	2010	7 122
2000	4 360	2011	7 480
2001	4 579	2012	7 856
2002	4 809	2013	8 251
2003	5 051	2014	8 666
2004	5 305	2015	9 102
2005	5 572	2016	9 560
2006	5 852	2017	10 041
2007	6 147		

Portanto a população final de projeto a ser considerada na cidade Paramotí é de 10.041 habitantes

b) DEMAIS LOCALIDADES

Como ao longo do caminhamento adotado existem cerca de 200 (duzentas) famílias às margens da estrada, principalmente o povoado de Água Boa que agrupa cerca de 80 (oitenta) famílias, propõe-se alguns pontos de água (reservatório, chafariz, etc) a fim de beneficiar esta população. Admitindo-se que existem cinco habitantes por família, tem-se 1000 habitantes beneficiados com este sistema

Já que não dispomos de dados de evolução populacional destes povoados, admitiu-se que a população para o final do plano (ano 2 017) será o dobro da atual, ou seja, 2 000 habitantes

c) POPULAÇÃO DE PROJETO

Visto isso conclui-se que a população final a ser considerada neste projeto será de 12 041 habitantes

4 - PARÂMETROS DE PROJETO

4 - PARÂMETROS DE PROJETO

4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Todas as diretrizes e parâmetros adotados neste projeto baseiam-se nos Termos de Referência da S R H , na norma NRPT 1/86 da CAGECE, na lei N° 11 996 de 24/07/1992 que institui a Política Estadual dos Recursos Hídricos, nos procedimentos da CETESB e da ABNT e na própria experiência dos técnicos envolvidos

4.2 - PARÂMETROS ADOTADOS

- Cota per capita	150 l/hab dia
- População final de projeto	12 041 habitantes
- N° máximo de horas de funcionamento do sistema	24 horas
- Alcance do plano	ano 2 017
- Coeficiente de reforço para o dia de maior consumo (K_1)	1,20
- Coeficiente de reforço para a hora de maior consumo (K_2)	1,50

4.3 - VAZÃO DE ABASTECIMENTO

A vazão média de abastecimento será de:

$$q = \frac{12\,041 \times 150}{86\,400}$$

$$q = 20,90 \text{ l / s}$$

A vazão requerida no dia de maior consumo será de

$$q_1 = 1,20 \times 20,90 = 25,08 \text{ l / s}$$

Portanto a vazão adotada para o dimensionamento do sistema será de 25,08 l/s ou 90,29 m³/h

4.4 - DIÂMETRO ECONÔMICO

Para se fazer um pré-dimensionamento do diâmetro econômico, pode-se utilizar a consagrada fórmula de Bresse que é

$$D = K\sqrt{Q}$$

$$D = 1,20\sqrt{0,02508}$$

$$D = 0,190m$$

Adotou-se o diâmetro comercial de 200mm, porém será feito um estudo mais aprofundado levando-se em consideração os seguintes diâmetros 150 mm, 200 mm, e 250 mm