

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ
AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MACACOS

ENGEPROL

FORTALEZA- CE
ABRIL DE 1999

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM MACACOS

TOMO I

RELATÓRIO DOS ESTUDOS PRELIMINARES

Lote: 02482 - Prep () Scan () Index ()

Projeto Nº 0237/01

Volume _____

Qtd. A4 _____

Qtd. A2 _____

Qtd. A0 _____

Qtd. A3 _____

Qtd. A1 _____

Outros _____

0237/01
ex.1

FORTALEZA
Abril/99





ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	4
1 - INTRODUÇÃO.....	6
2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	8
3 - ANÁLISE DA DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE	12
3 1 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA	13
3 1 1 - Principais Parâmetros	13
3 1 2 - Sinopse Climatológica	14
3 2 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	15
4 - PLANO DOS ESTUDOS BÁSICOS	19
4 1 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS	20
4 1 1 - Pesquisa dos Dados	20
4 1 2 - Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos	23
4 2 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS	26
4 3 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS	27
4 3 1 - Plano de Sondagens	28
4 3 2 - Ensaios de Laboratório	29

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

A ENGEPROL Ltda apresenta, a seguir, o Projeto Executivo da Ampliação da Reserva Hídrica do Sistema Carrapateiras/Macacos, no município de Ibaretama, no estado do Ceará, objeto do Contrato nº 079/97-SRH- Secretana dos Recursos Hídricos

O referido projeto está apresentado nos seguintes documentos

TOMO I – Relatório dos Estudos Preliminares

TOMO II – Relatórios dos Estudos Básicos

VOLUME I – Estudos Topográficos

VOLUME II – Estudos Geológicos e Geotécnicos

VOLUME III – Estudos Hidrológicos

TOMO III – Relatório da Concepção Geral do Projeto

TOMO IV – Relatório Geral

VOLUME I – Descrição Geral do Projeto

VOLUME II – Memorial de Cálculo

VOLUME III – Especificações Técnicas e Orçamento

VOLUME IV – Desenhos

TOMO V – Relatório Síntese

O presente relatório refere-se ao TOMO I – Relatório dos Estudos Preliminares

1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

O presente relatório, tem como objetivo a apresentação e análise de informações obtidas ou já existentes - diretamente relacionadas com a Elaboração do Projeto Executivo da Barragem Macacos

Inicialmente, é apresentada uma revisão das informações gerais disponíveis em bibliografia ou na cartografia existente. Nesta revisão são descritos aspectos topográficos, geográficos e geológicos de relevada importância à concepção e desenvolvimento do projeto da Barragem Macacos e são discutidas as características gerais da área onde será construído o novo reservatório.

Posteriormente, é representada uma síntese descritiva das atividades de campo e de laboratório que provavelmente serão desenvolvidas durante os Estudos Básicos, compreendendo estudos topográficos e geotécnicos, e são exibidas tabelas, planta de locação e o programa de ensaios necessários à definição do tipo de seção da barragem.

Finalmente, são apresentadas as principais conclusões obtidas durante a elaboração deste trabalho.

2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

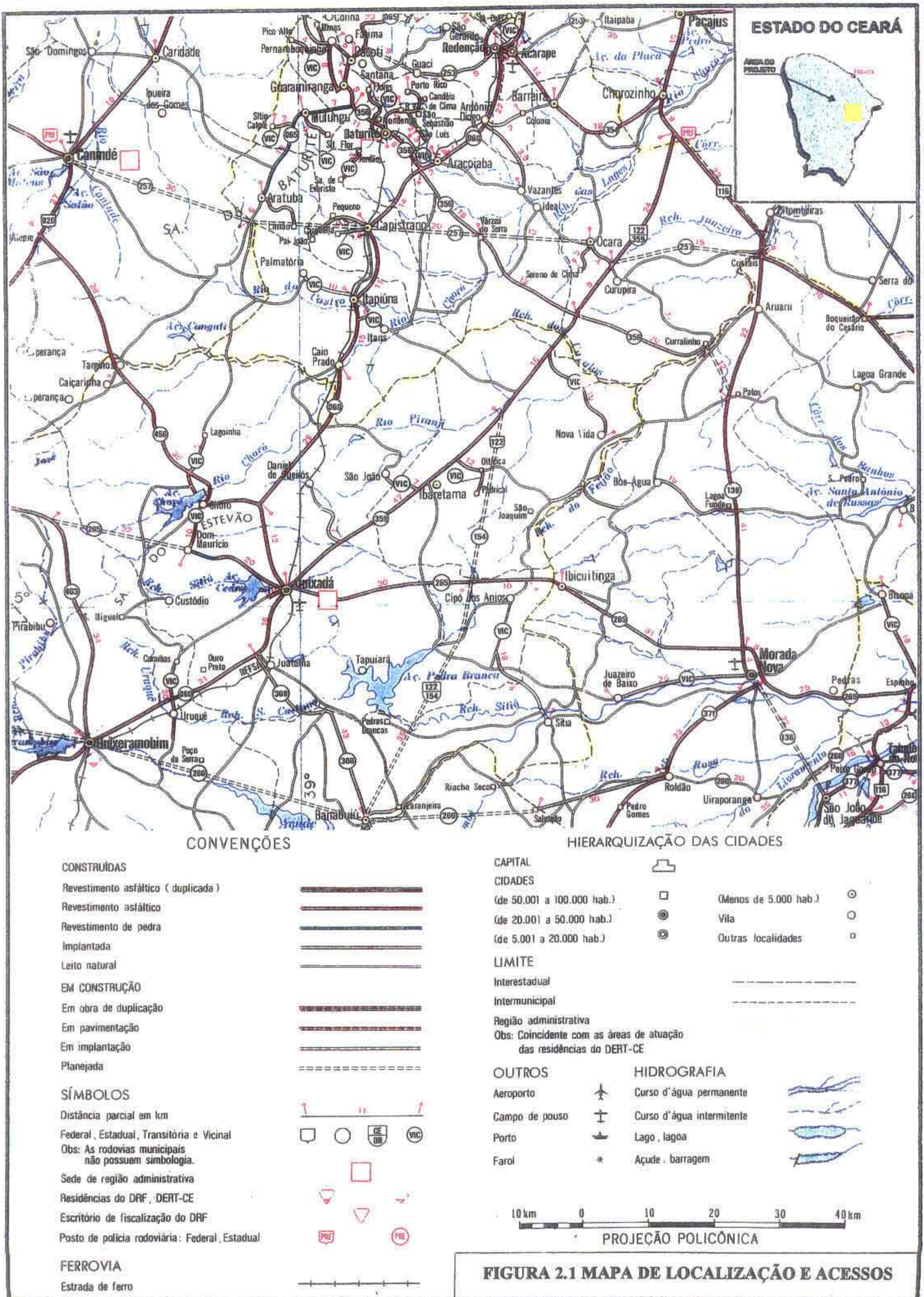
2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

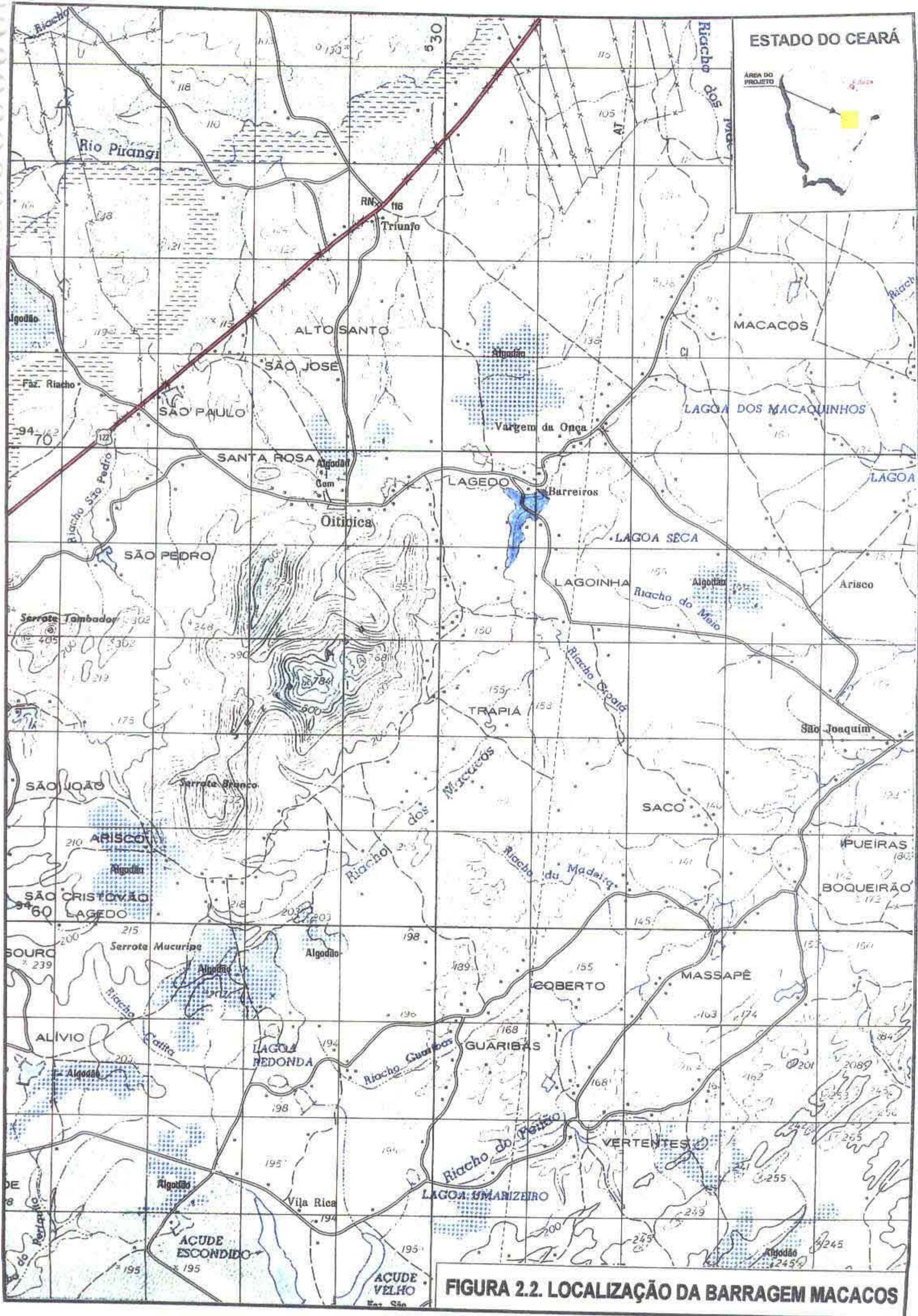
A Barragem dos Macacos está localizada no povoado de Barreiros, no município de Ibaretama, na região Centro do Estado do Ceará, longitude 38°42'w e latitude 4°47'S

A cidade de Ibaretama liga-se a Fortaleza pela rodovia estadual, pavimentada, CE-122 e pela BR 116, distando cerca de 140 Km

O acesso ao eixo do barramento, partindo-se da cidade de Ibaretama, é feito através da CE 122 até localidade de Barreiro, a qual fica aproximadamente 1 Km do boqueirão

As figuras 2 1 e 2 2, apresentadas a seguir, mostram a localização e o acesso ao empreendimento





3 - ANÁLISE DA DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE

3 - ANÁLISE DA DOCUMENTAÇÃO EXISTENTE

3.1 - Caracterização Climatológica

Devido à inexistência de estações meteorológicas na bacia hidrográfica, a caracterização da hidroclimatologia da região onde será construída a barragem Macacos baseou-se na estação de Morada Nova (Latitude 6°05'N, Longitude 39°23' W) Esta estação não será utilizada para caracterizar a precipitação da região, sendo utilizados os postos pluviométricos na bacia hidrográfica A caracterização hidroclimatológica será feita utilizando-se as Normais Climatológicas do INEMET(1992)¹, resultante das medições realizadas durante os anos de 1961 a 1990

3.1.1 - Principais Parâmetros

A distribuição temporal de temperaturas diárias mostra pequenas variações para três pontos discretos de monitoramento realizadas às 12 00, 18 00 e 24 00 do tempo do meridiano de Greenwich -TMG-, sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes

A temperatura média compensada apresenta uma pequena variação durante o ano As médias máximas e médias mínimas extremas ocorrem, respectivamente, no mês de dezembro (35,7 °C) e agosto (20,6 °C)

A umidade relativa média possui uma variação máxima de 22,8% ocorrida entre os meses de abril (80,3%) e novembro (57,5%)

O número de horas médio de exposição solar na estação de Morada Nova - CE e sua distribuição mensal Em termos médios anuais têm-se 2982,8 horas de exposição, podendo-se concluir que cerca de 68,1 % dos dias do ano possuem incidência solar direta (admitindo-se que o dia está composto por 12 horas de luz diurna e 12 horas de luz noturna) Durante os meses de agosto, setembro e outubro ocorrem os maiores valores de horas de insolação, os menores valores ocorrem no trimestre fevereiro/março/abril O mês de agosto apresenta o maior índice de insolação (282,7 horas) e o mês de fevereiro o menor (197,9 horas)

¹INEMET, 1992 INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS

A precipitação média anual observada na bacia do Riacho dos Macacos é de 800,0mm. As precipitações estão concentradas no primeiro semestre onde ocorre, aproximadamente, 88,4% do total anual, o trimestre mais chuvoso é fevereiro/março/abril com 63,2% do total, o trimestre menos chuvoso é agosto/setembro/outubro onde precipita pouco mais do 2,3% do total anual. O mês mais chuvoso é março (207,9) e no mês de setembro ocorre o menor índice de precipitação (4,7mm).

O trimestre que apresenta os maiores valores de evapotranspiração corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (200,6 mm). O trimestre abril/maio/junho possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em março com 116,6 mm.

A evaporação anual observada de acordo com a publicação Normais Climatológicas do Brasil (INEMET, 1992) é de 2235,2 mm, distribuída ao longo dos meses segundo a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Evaporação Média Mensal

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Mm	207,7	149,8	87,7	90,1	112,4	128,7	179,6	243,8	246,7	279,3	259,9	249,5	2235,2

FONTE: INEMET (1992)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a outubro/novembro/dezembro, ocorrendo o máximo em outubro (279,3 mm).

3.1.2 - Sinopse Climatológica

Pluviometria Total Média Anual (sobre a bacia)	800,0 mm
Evaporação Total Média Anual	2235,2 mm
Nebulosidade Média Anual	4,7
Insolação Total Média Anual	2982,8h
Umidade Relativa Média Anual	67,5%
Temperatura Média Anual Média das Máximas	33,8°C
Temperatura Média Anual Média das Médias	27,1°C
Temperatura Média Anual Média das Mínimas	21,9°C
Classificação Climática	DdA'a'

3.2 - Estudos Pluviométricos

Será utilizados 2 postos neste estudo, próximos à área de interesse, (bacia do Riacho dos Macacos com um área de 67,60 km²) A tabela 3.2 mostra a identificação das estações utilizadas e sua localização

Tabela 3.2

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

POSTO	CÓDIGO DNAEE	CÓDIGO SUDENE	COORDENADAS		ALTITUDE (M)	MÉDIA ANUAL (MM)
			LAT N	LONG W		
Olho d' Água	00438035	2892531	4° 45'	38° 51'	150,00	807,9
Boa Água	00438014	2892679	4° 50'	38° 37'	120,00	807,4

FONTE PERH (1992)

A área de estudo apresenta média pluviométrica igual 800 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,38

Uma análise frequencial foi realizada para os postos listados anteriormente, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Normal como a mais adequada, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro 3.1 resume esta análise de frequência

QUADRO 3.1

ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DOS TOTAIS ANUAIS DISTRIBUIÇÃO NORMAL

CÓDIGO	Nº. ANOS	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
00438035	50	1239,7	1586,3	1672,5	1779,2	1855,8
00438014	27	1268,4	1674,9	1779,8	1912,2	2009,1

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

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde constata-se que cerca de 60% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano, no trimestre Fevereiro/Março/Abril e Março/Abril/Maio. Nestes trimestres os meses de março corresponde mais frequentemente ao mais chuvoso, com cerca de 25% do total anual

Foi calculada a precipitação média sobre a bacia utilizando o método de Thiessen. As estações utilizadas neste estudo para caracterizar a pluviometria média sobre a bacia são as estações Olho d'Água e Boa Água. A localização e dados de referência encontram-se na tabela 3.3 abaixo. A série de precipitação média sobre a bacia de contribuição do reservatório Macacos é apresentada na Tabela 3.4.

Tabela 3.3 - Coeficientes de Thiessen para Bacia do Riacho dos Macacos

POSTO	CÓDIGO DNAEE	CÓDIGO SUDENE	COORDENADAS		ALTITUDE (M)	MÉDIA ANUAL (MM)	Coeficiente de Thiessen
			LAT N	LONG W			
Olho d'Água	00438035	2892531	4° 45'	38° 51'	150,00	807,9	0,76528
Boa Água	00438014	2892679	4° 50'	38° 37'	120,00	807,4	0,23472

FONTE: PERH (1992)

Tabela 3 4 - Pluviométrica média mensal (mm) na bacia hidrográfica do Reservatório Macacos

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1932	-	35.7	46.9	11.1	0.0	63.5	10.2	0.0	106.8	0.0	10.9	12.8	297.9
1933	130.1	147.7	322.2	300.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.8	920.9
1934	118.2	195.5	315.8	92.7	90.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.7	209.8	1060.9
1935	147.8	358.8	279.8	210.6	141.7	17.9	2.1	0.0	0.0	2.8	28.8	5.0	1195.3
1936	75.4	280.1	65.8	81.6	23.8	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.6	640.4
1937	31.8	343.7	147.0	78.7	149.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	751.0
1938	66.7	46.0	238.0	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	42.2	8.1	0.0	419.4
1939	10.4	374.0	126.0	24.9	75.6	0.0	0.0	0.0	12.0	33.2	55.8	56.8	768.7
1940	82.2	147.0	267.0	181.0	108.8	5.1	0.0	0.0	8.4	38.4	1.0	66.6	905.5
1941	49.6	107.0	258.0	188.6	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	638.2
1942	85.5	125.1	174.2	113.6	8.1	5.4	0.0	0.4	0.0	48.1	54.3	47.6	662.3
1943	54.8	145.3	311.7	104.6	27.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	81.6	63.2	789.8
1944	83.2	103.3	113.8	108.1	10.4	1.9	0.0	0.0	41.4	0.0	3.2	324.3	789.6
1945	65.1	307.9	128.2	143.7	190.7	28.6	2.1	0.4	0.5	52.0	24.4	82.6	1026.2
1946	251.9	231.0	144.7	140.8	26.2	73.1	0.0	14.4	0.1	0.0	31.4	126.7	1040.3
1947	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1948	130.4	72.2	243.0	73.0	48.3	11.2	5.3	0.0	0.0	16.0	1.2	120.1	720.7
1949	27.0	100.4	213.4	181.7	94.7	8.5	4.2	10.2	4.5	3.8	112.0	3.8	764.2
1950	129.6	108.6	129.3	319.0	0.0	0.0	2.2	0.0	4.5	76.0	3.5	59.4	832.1
1951	147.7	37.3	57.3	175.5	31.5	25.6	4.5	0.0	0.0	20.3	4.0	56.2	559.9
1952	40.0	152.5	218.4	111.7	40.4	11.2	0.0	0.0	4.0	0.0	15.3	26.0	619.5
1953	10.2	53.8	153.9	94.8	7.6	60.6	0.0	5.4	7.9	0.0	61.2	19.7	475.1
1954	59.9	76.5	182.9	64.2	17.0	5.5	7.0	0.0	0.0	0.0	36.8	42.6	492.4
1955	120.7	-	315.7	254.1	9.3	0.0	0.0	2.2	0.0	4.7	14.8	52.1	-
1956	15.2	397.4	170.4	179.8	25.9	10.4	4.7	7.0	0.0	54.9	27.5	43.9	937.1
1957	129.2	79.9	272.3	225.5	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	162.5	871.9
1958	-	80.5	138.0	4.6	39.1	0.0	0.0	94.4	0.0	0.0	0.0	18.0	-
1959	224.9	273.4	111.4	122.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	-	-
1960	35.0	36.0	385.9	45.0	18.9	0.0	0.0	0.0	-	9.6	-	19.8	-
1961	67.0	199.2	340.0	18.3	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.3	707.2
1962	129.6	290.9	241.4	96.2	47.1	24.0	1.4	0.0	0.0	3.8	0.0	91.3	925.7
1963	80.3	347.5	402.1	259.1	38.7	6.1	0.0	0.0	0.0	4.0	1.2	115.9	1254.9
1964	248.7	139.2	328.8	287.5	178.7	75.0	14.6	14.2	1.2	1.0	0.2	0.0	1289.1
1965	38.7	50.8	92.0	231.2	75.8	170.5	4.7	0.0	0.0	6.9	0.0	0.3	670.9
1966	1.2	74.3	34.8	106.5	174.1	34.5	-	0.8	0.5	0.0	0.3	12.6	-
1967	50.3	163.1	326.9	229.0	104.4	24.6	6.5	1.8	2.9	0.0	0.0	3.5	912.9
1968	95.3	30.4	242.0	93.9	174.2	8.5	17.9	1.7	0.0	0.5	0.0	12.4	676.6
1969	98.7	39.8	147.0	210.2	57.0	126.3	61.7	20.2	0.0	0.0	0.9	0.0	761.7
1970	50.3	29.0	212.9	103.7	8.6	30.4	2.3	0.0	0.8	1.0	44.8	20.4	504.2

Tabela 3 4 - Pluviométrica média mensal (mm) na bacia hidrográfica do Reservatório Macacos
(continuação)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1971	116 7	110 3	185 9	173.2	158 6	88 1	29 1	27 6	4 2	23 7	34 8	4 8	957 0
1972	20 7	76 2	145 0	70.8	68 9	82 1	17 5	10 6	5 6	1 8	0.0	44 9	544 0
1973	151 2	48 7	182.4	286 4	132 7	106 1	26 5	11 2	0 0	5 5	0 0	36 9	987 6
1974	453 5	180 4	371 5	295 2	328 3	63 6	12.9	2 4	14 4	1 0	16 4	52 5	1792.1
1975	57 6	125 6	275 0	114 1	224 1	101 9	59 8	0 3	6 3	0 5	0 0	23 9	989 1
1976	21 2	97 4	180 0	93 7	13 3	1 5	3 2	1 2	1 0	12 1	0 0	15 7	440 4
1977	61 7	133 7	159 1	180.6	160 8	128 0	63 2	0 0	0 0	0 0	0 0	9 5	896 5
1978	5 1	108 3	113.4	154 8	92 5	56 9	31 3	0 0	0 0	5 4	18 5	48 8	634 9
1979	13 6	44 3	101 7	63 3	119 8	32 2	10 5	1 5	17 9	0 0	1 9	2 4	409 1
1980	55 1	223 5	213 2	33 3	26 3	13 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1 6	0 8	566 7
1981	53 0	37 0	307 2	110 5	43 4	8 7	4 7	0 0	0 0	0 0	0 0	95 3	659 8
1982	63 9	55 6	209 0	187 2	96 0	40 9	7 6	9 6	0 0	3 9	12 8	4 1	690 5
1983	5 3	155 1	136 0	101.8	47 9	1 8	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	2 4	451 2
1984	28 4	67 5	135 4	379 1	261 4	24 5	46 3	23 0	0 6	0 6	0 0	1 5	968 3
1985	140 4	259 2	330 6	328 0	220 4	207 5	105 6	14 2	0 0	0 0	0 0	53 2	1659 0
1986	55 2	202 7	375 4	441 1	174 9	112 7	32 7	17 0	5 1	16 1	21 7	15 8	1470 3
1987	30 5	66 8	228 1	73 2	23 6	119 9	10 8	9 5	0 0	0 0	0 0	1 7	564 0
1988	91 5	56 7	94 8	308.3	163 9	74 3	37 7	0 0	6 1	1 1	0 0	127 9	962 3
MÉDIA	85 3	142 4	207 9	155.0	79 2	37 8	11 8	5 4	4 7	8 8	14 3	47 5	800 0
DSVPAD	77 5	101 9	94 5	99 9	77 8	48 4	20 9	13 8	15 5	16 9	23 5	59 9	307 1
CV	0 91	0 72	0 45	0 64	0 98	1 28	1 76	2 57	3 32	1 93	1 65	1 26	0 38

4 - PLANO DOS ESTUDOS BÁSICOS

4 - PLANOS DOS ESTUDOS BÁSICOS

4.1 - Estudos Hidrológicos

Os Estudos Hidrológicos Preliminares para o açude Macacos desenvolveram-se nas etapas descritas a seguir

- Pesquisa dos Dados e Estudos Disponíveis
- Estudo Hidrológicos e Dimensionamento

As etapas anteriores desenvolveram-se com a finalidade de aproveitar o conhecimento gerado pelos estudos anteriores a este, que compreendem a bacia dos Macacos e avaliar a disponibilidade de dados. Com os dados coletados na etapa anterior, se fez uma caracterização físico-climática preliminar da bacia. Finalmente se fez uma avaliação preliminar das disponibilidades hídricas da bacia.

4.1.1 - Pesquisa dos Dados

A região onde encontra-se a bacia hidrográfica do futuro Açude de Macacos foi objeto de estudos durante o Plano Estadual dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, PERH, 1992.

4.1.1.1 - 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 destacam-se, para os fins deste trabalho a caracterização do regime pluviométrico em vários intervalos de tempo e o estabelecimento de série pluviométrica média para as bacias hidrográficas dos açudes de médio e grande porte.

O PERH contemplou a consistência e a homogeneização das séries pluviométricas pelo método do Vetor Regional.

Foram utilizados 2 postos neste estudo, próximos à área de interesse, (bacia do Riacho dos Macacos com um área de 67,60 km²) A tabela 4.1 mostra a identificação das estações utilizadas e sua localização

Tabela 4.1

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS - IDENTIFICAÇÃO E LOCALIZAÇÃO

POSTO	CÓDIGO DNAEE	CÓDIGO SUDENE	COORDENADAS		ALTITUDE (M)	MÉDIA ANUAL (MM)
			LAT N	LONG W		
Olho d' Água	00438035	2892531	4° 45'	38° 51'	150,00	807,9
Boa Água	00438014	2892679	4° 50'	38° 37'	120,00	807,4

FONTE PERH (1992)

4.1.1.2 - Estudo de Deflúvios

O presente capítulo visa obter uma avaliação qualitativa e quantitativa da disponibilidade natural de água decorrente do escoamento superficial sobre a bacia do Riacho dos Macacos até a seção da barragem homônima

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude Macacos foi realizada objetivando fornecer elementos para a caracterização do regime fluviométrico e para a simulação de sua operação, visando o dimensionamento do reservatório

No local da Barragem não há registros de vazão Assim, poderá ser adotado para obtenção das séries de deflúvios com transferência de informações de outras partes do rio (no caso o posto fluviométrico Cristais)

Especificamente na região de estudo, existe o posto fluviométrico de Cristais, na bacia hidrográfica do Rio Pirangi, a jusante da barragem no Riacho dos Macacos Devido à homogeneidade do regime pluviométrico entre as duas bacias optou-se por estimar os deflúvios no Riacho dos Macacos a partir dos deflúvios em Cristais

A série de deflúvios afluentes a seção Cristais já havia sido estendida utilizando o modelo MODHAC, cujos resultados no PERH-CE demonstraram uma boa adequação aos dados observados na bacia hidrográfica em questão

A série fluviométrica a nível mensal para a estação Crstais está apresentada abaixo na Tabela 4 2

Tabela 4 2 - Rio Pirangi em Crstais (35950000) - VAZÕES MÉDIAS MENSAIS (m³/s)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁX	MÍN	ANUAL
1982	0,00	0,00	0,00	1,47	1,40	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,07	0,00	0,25
1983	0,00	0,56	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,78	0,00	0,06
1984	0,00	0,00	4,30	61,9	66,4	3,14	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	282	0,00	11,4
1985	0,28	40,9	135	127	126	25,5	6,08	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	519	0,00	38,4
1986	0,00	2,67	52,2	169	37,3	11,9	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	420	0,00	22,8
1987	0,00	0,00	7,42	2,51	0,33	0,72	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	75,5	0,00	0,96
1988	0,10	0,23	0,35	29,0	41,5	0,84	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	231	0,00	6,03
1989	0,00	0,00	1,21	50,6	33,9*	3,50*	3,90*	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	167	0,00*	7,76*
1990	0,00	0,09	0,28	0,00	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58	0,00	0,04
1991	0,00	0,00	5,35	2,15	1,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	73,9	0,00	0,78
1992	0,00	0,30	1,34	8,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	64,3	0,00	0,81
1993	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	0,00	0,00
1994	0,00	0,00	0,98	10,6	3,35	3,96	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	44,4	0,00	1,78
Média	0,03	3,44	16,0	35,6	24,0	3,82	1,17	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	146	0,00	7,01

4.1.2 - Estudos Hidrológicos e Dimensionamentos

4.1.2.1 - Dimensionamento do Reservatório

Neste item serão desenvolvidos os estudos visando definir o tamanho do reservatório, de sua capacidade de regularização e das dimensões da obra de tomada d'água, a partir de critérios de eficiência hidráulica e otimização de custos globais

Na fase A, mencionada no presente documento, deverão ser realizados os trabalhos de coleta de dados, sistematização dos mesmos e a partir daí proceder o desenvolvimento de alternativas para a capacidade total de armazenamento do reservatório

A geração de alternativas, nesse sentido, deverá exigir a formação de subsídios técnicos e econômicos derivados dos condicionantes físico-climáticos da região, cujas influências poderão ser melhor avaliadas a partir da apresentação de gráficos e tabelas mostrando as seguintes relações

- 1 Volume anual regularizado com 90% de garantia versus capacidade do açude
- 2 Análise da taxa de variação da vazão regularizada versus variação da capacidade de acumulação do reservatório

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório está ligada ao conhecimento das mudanças temporais e espaciais dos deflúvios naturais, visando o atendimento das demandas da sociedade. Busca-se aqui avaliar o tamanho que deve ter a obra de maneira que ganhos em regularização de águas justifique os investimentos a serem realizados

Os objetivos centrais deste capítulo são

- 1 análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Macacos,
- 2 estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Macacos

O traçado das curvas de regulação, inclui volumes evaporado (E), liberado (M) e sangrado (S) versus capacidade (K) e dM/dK versus K

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado o método da solução direta do balanço hídrico

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 estimativa das vazões afluentes mensais ao açude Macacos será realizada objetivando fornecer elementos para a caracterização do regime fluviométrico e para a simulação de sua operação, visando o dimensionamento do reservatório

O estudo das vazões medidas em estações fluviométricas é indispensável para o conhecimento do regime hidrológico de uma bacia hidrográfica. Mantidas ao longo de décadas por órgãos ligados ao setor de recursos hídricos, as estações fluviométricas têm uma densidade muito inferior a dos pluviômetros

No local da Barragem não há registros de vazão. Assim, existem duas alternativas para obtenção das séries de deflúvios

- 1 Transferência de informações de outras partes do rio (no caso o posto fluviométrico Cristais),
- 2 Aplicação de um modelo chuva-deflúvio

Especificamente na região de estudo, existe o posto fluviométrico de Cristais, na bacia hidrográfica do Rio Pirangi, a jusante da barragem no Riacho dos Macacos. Devido à homogeneidade do regime pluviométrico entre as duas bacias optou-se por estimar os deflúvios no Riacho dos Macacos a partir dos deflúvios em Cristais

A série de deflúvios afluentes a seção Cristais já havia sido extendida utilizando o modelo MODHAC², cujos resultados no PERH-CE demonstraram uma boa adequação aos dados observados na bacia hidrográfica em questão

² MODHAC - Modelo Hidrológico Auto Calibrável - A E L Lanna & M Schwarzbach - 1989. Publicação de Recursos Hídricos 21 - Instituto de Pesquisas Hidráulicas I P H - U F R G S

Este modelo chuva-vazão, baseado na simulação de três reservatórios que representam os níveis de armazenamento de água superficial, subsuperficial e subterrâneo. O balanço hídrico é executado a nível diário (intervalo de computação) e os resultados e as vazões geradas são apresentadas mês a mês (intervalo de simulação)

Estes reservatórios, dispostos em série, possuem parâmetros que têm que ser ajustados a partir do confronto de dados observados de vazão mensais concomitantes com dados de precipitação diária

4.1.2.2 - Estudo das Cheias de Projeto

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento do sangradouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) e com base na precipitação (métodos indiretos), estando em ambos os casos associados a um risco previamente escolhido. Diante da escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação

O estudo da cheia de projeto é de fundamental importância para a segurança e economia da barragem, podendo o hidrograma de projeto estar baseado em

- PMP (precipitação máxima provável) para projetos de importantes obras hidráulicas,
- cheia padrão para obras hidráulicas de risco intermediário,
- precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que se utilizam de séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados pela escassez de dados ou, ainda, sua inexistência. A inexistência de dados sobre os eventos na bacia a ser estudada indicou a escolha de métodos de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto, a escolha da chuva de projeto, o hidrograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1

As relações chuva-deflúvio para a bacia do açude Macacos foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia, foi estudada a sua resposta ao hietograma de projeto correspondentes a 1 000 anos (T_r = tempo de retorno)

4.1.2.3 - Dimensionamento do Sangradouro

Nas análises do dimensionamento do sangradouro será adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1 000 anos, calculando-se a laminação correspondente para cada alternativa de sangradouro, fornecendo, finalmente, elementos suficientes para a determinação da cota de coroamento da barragem. A cheia decamilenar servirá apenas para verificar a condição de não galgamento da barragem, isto é, não considerando folga para esta frequência de cheia.

Técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios. Este método consiste em uma expressão discretizada da equação da continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento.

- Hidrograma Unitário

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km², e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro o TLAG. Este parâmetro, TLAG, é igual à distância (*lag*) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário.

4.2 - Estudos Topográficos

Os estudos topográficos necessários à elaboração do Projeto Executivo da Barragem Macacos (já em andamento) envolverão levantamentos no eixo barrável selecionado, no sangradouro e faixas de domínio, nas áreas de empréstimo de materiais de construção, na bacia hidráulica, nas áreas do canal de restituição e nos trechos de talvegue de cursos d'água em torno do eixo da barragem.

Os levantamentos plani-altimétrico na região do eixo barrável e vertedouro serão realizadas com base em coordenadas e referência de nível do IBGE e consistirão em locação e nivelamento dos locais correspondentes às diversas alternativas. Nestas áreas, onde serão realizados seccionamentos a cada 20 m, será executada uma materialização de todos os levantamentos através de marcos de concreto, piquetes e estacas testemunhas.

Já jazidas terrosas, arenosas e pétreas serão levantadas seguindo-se, preferencialmente, uma malha quadrada com 100m de lado e serão amarradas ao eixo barrável através de poligonais.

Com relação à bacia hidráulica, esta será levantada seguindo-se uma malha plani-altimétrica de 100m x 50m e terá, assim como as demais áreas estudadas, o registro de todos os elementos físicos relevantes (e, g, marcos topográficos, construções, cercas, linhas de transmissão, estradas de ferro ou rodagem, talvergues, açudes, orientação o N M, etc.)

Durante a realização dos serviços acima mencionados, será utilizado um instrumento de navegação tipo GPS (Global Positioning System), que permitirá, a partir de pontos situados na bacia hidráulica e em ambas as ombreiras, o traçado da malha de coordenadas durante a elaboração de desenhos e plantas.

4.3 - Estudos Geotécnicos

As investigações geotécnicas de campo e de laboratório associadas à implantação da Barragem Macacos terão como objetivo a determinação do perfil estratigráfico das áreas onde serão construídos o aterro compactado, a tomada d'água e o vertedouro, e a obtenção de parâmetros representativos do comportamento, sob o ponto de vista de engenharia, dos diversos materiais envolvidos no projeto.

No que diz respeito às investigações geotécnicas de campo, serão executadas sondagens à percussão, rotativas, mistas (iniciadas à percussão e prosseguidas com rotativa em rochas) e trado em áreas de fundação e de exploração de materiais de empréstimo.

Durante a execução destas sondagens, serão realizados, quando necessário, ensaios de perda d'água e de infiltração *in situ* e serão coletadas amostras de material para caracterização tátil-visual ou para análise em laboratório.

As investigações de laboratório serão realizadas sobre as amostras recolhidas nas refendas sondagens, em processo através do qual serão avaliadas as características dos materiais em estudo relacionadas com compressibilidade, condutividade hidráulica e resistência ao cisalhamento

4.3.1 - Plano de Sondagens

O plano de sondagens proposto pela ENGEPROL (a execução do plano está condicionada à confirmação, no campo, dos resultados obtidos no estudo de alternativas descrito neste relatório), encontra-se apresentado nas tabelas 4.1 e 4.2, onde são indicados a localização, o tipo de sondagem e os ensaios in situ que serão executados durante a prospecção do subsolo

Tabela 4.1 - Plano de Sondagens

	SANGRADOURO	OMBREIRA DIREITA	OMBREIRA ESQUERDA	LEITO DO RIO	BARRAGEM AUXILIAR
Sondagens a Pá e Picareta	10	05	05		
Sondagens a Percussão (SP)				06	02
Sondagens Mistas (SM)	05	01		03	
Sondagens Rotativas (SR)	01	01	01		

Tabela 4.2 - Ensaio In Situ (em sondagens à percussão)

ENSAIOS	QUANTIDADE	LOCAL
Perda d'água (Lugeon), com 5 estágios de pressão	35	Eixo barrável e vertedouro
Infiltração in situ (Le Franc)	30	Eixo barrável

4.3.2 - Ensaio de Laboratório

Os ensaios de laboratório necessários à caracterização geotécnica dos materiais de fundação e de empréstimo relacionados ao Projeto Executivo da Barragem Pesqueiro estão apresentados, de forma resumida, na Tabela 4.3. Deve ser ressaltado que, nesta tabela, tendo em vista o atual estágio de evolução do projeto, são apenas indicados o material envolvido e a quantidade e o tipo de ensaio, já que, na maior parte dos casos, a localização exata do ponto de coleta dos corpos de prova ainda não se encontra disponível.

Tabela 4.3 - Ensaio de Laboratório

ENSAIOS	QUANT.	ORIGEM DO MATERIAL
Granulometria sem sedimentação	25	Eixo barrável e jazidas de solo e areia
Granulometria com sedimentação	10	Eixo barrável e jazidas de solo
Limite de liquidez	25	Eixo barrável e jazidas de solo
Limite de plasticidade	25	Eixo barrável e jazidas de solo
Peso específico	25	Jazidas de solo
Umidade Natural	25	Jazidas de solo
Proctor Normal	25	Jazidas de solo
Permeabilidade (carga variável)	8	Jazida de solo
Cisalhamento direto lento	7	Eixo barrável e jazidas de solo
Granulometria	6	Jazidas de solo
Los Angeles	3	Jazidas de pedra
Permeabilidade (carga constante)	6	Jazidas de areia