

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH

**PROJETO BÁSICO DO VERTEDOURO DO LAGO
CATU E DA BARRAGEM CINZENTA**

VOLUME 1 : TEXTO

GEONORTE

FORTALEZA- CE
SETEMBRO 1995

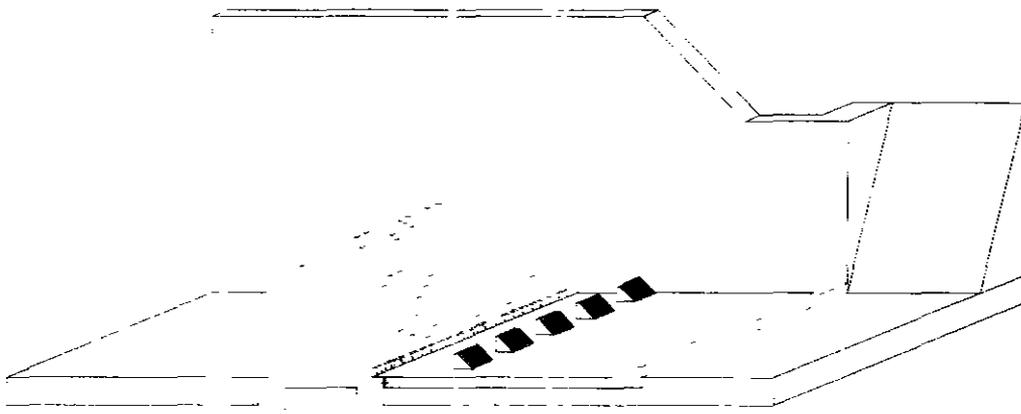
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ



SHR

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
DO ESTADO DO CEARÁ - SRH

PROJETO BÁSICO DO VERTEDOURO DO LAGO CATU E DA BARRAGEM CINZENTA



VOLUME 1 : TEXTO

Lote: 00729 - Prep (X) Scan () Index ()
Projeto Nº 0076/01/D
Volume 1
Qty. A4 _____ Qty. A3 _____
Qty. A2 _____ Qty. A1 _____
Qty. A0 _____ Outros _____



Geonorte

0076/01/D

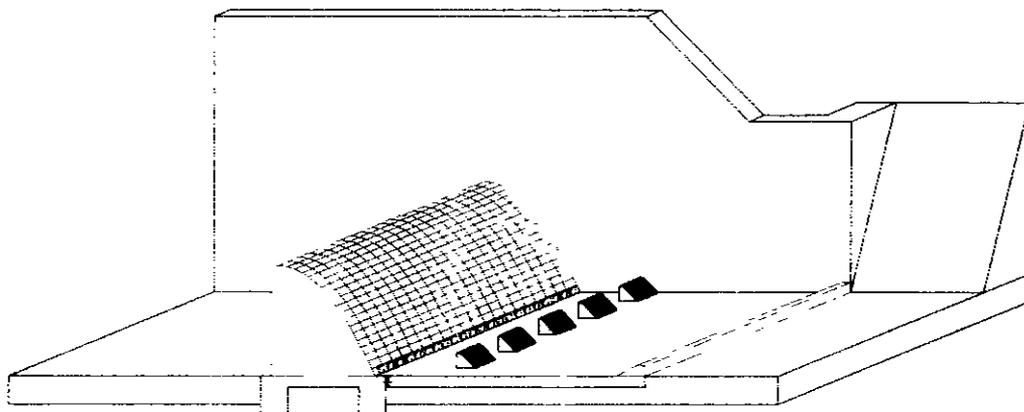
ZA - SETEMBRO/1995

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

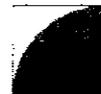


SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
DO ESTADO DO CEARÁ - SRH

PROJETO BÁSICO DO VERTEDOURO DO LAGO CATU E DA BARRAGEM CINZENTA



VOLUME 1 : TEXTO



Geonorte

FORTALEZA - SETEMBRO/1995

000003



Geonorte

ÍNDICE



000004



ÍNDICE

	<u>PÁG.</u>
ÍNDICE	1
1.0 - APRESENTAÇÃO	4
2.0 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO	6
3.0 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS	9
3.1 - NO LAGO CATU	10
3 1 1 - Levantamento Planialtimétrico da Área de Implantação do Vertedouro	10
3 1 2 - Poligonal de Apoio, pela Margem Esquerda do Lago Catu	11
3 1 3 - Levantamento Batimétrico do Lago Catu	12
3 1 4 - Implantação de Marcos de Amarração	12
3.2 - NA BARRAGEM CINZENTA	13
3 2 1 - Levantamento Planialtimétrico dos Boqueirões	13
3 2 2 - Levantamento Planialtimétrico dos Vertedouros	14
3 2 5 - Levantamento Planialtimétrico de Eixos para Variante da Estrada	16
3 2 4 - Implantação de Marcos de Amarração	17
3.3 - CÁLCULOS ELABORADOS	17
4.0 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS	18
4.1 - ESTUDO HIDROCLIMATOLÓGICO	19
4 1 1 - Caracterização Climatológica	19
4 1 1 1 - Principais Parâmetros	20
4 1 1 1 1 - Temperatura	20
4 1 1 1 2 - Umidade Relativa	21
4 1 1.1 3 - Insolação Média	22
4 1 1.1 4 - Ventos	23
4 1 1.1 5 - Evaporação Média	24
4 1 1 1 6 - Evapotranspiração	25
4 1 1 2 - Balanço Hídrico	26
4 1 1 3 - Classificação do Clima	27
4 1 1 3 1 - Classificação segundo Thornthwaite	27
4 1 1 3 2 - Classificação segundo Koeppen	28
4.2 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	29
4 2 1 - Dados Utilizados	29
4 2 2 - Caracterização do Regime Pluviométrico	31
4 2 2 1 - Nível Anual	31
4 2 2 2 - Nível Mensal	32



4 2 2 3 - Nivel Diário	33
4 2 2 4 - Chuvas Intensas	34
4.3 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS	37
4 3 1 - Metodologia	37
4 3 2 - Dados Necessários	40
4.4 - CHEIA DE PROJETO: DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO	43
4 4 1 - Introdução	43
4 4 2 - Metodologia	44
4 4 2 1 - Precipitação	45
4 4 2 2 - Precipitação Efetiva	48
4 4 2 3 - Hidrograma Unitário - SCS	51
4 4 2 4 - Propagação da Cheia no Reservatório	52
4 4 3 - Resultados	53
No Anexo E - Estudos Hidrológicos, encontram-se os resultados gerados pelo programa HEC-1 para a cheia de projeto considerando os dois cenários Catu e Catu-Cinzenta	57
4.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO	57
4 5 1 - Introdução	57
4 5 2 - Metodologia	58
4 5 2 1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico	58
4 5 2 2 - O Diagrama Triangular de Regularização	61
4 5 3 - Estudo de Interferência	62
4 5 4 - Resultados	63
4.6 - ESTUDOS ADICIONAIS	69
4 6 1 - Introdução	69
4 6 2 - Estudo da Disponibilidade Hídrica	70
5.0 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS	77
5.1 - ESTUDOS GEOLÓGICOS	78
5.2 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS	79
5 2 1 - Sondagens no Lago Catu	79
5 2 2 - Sondagens nos Boqueirões e Vertedouros Alternativos da Barragem Cinzenta	81
5 2 3 - Estudos dos Materiais	83
5 2 3 1 - Ensaio Especiais	87
5 2 3 1 1 - Permeabilidade com Carga Variável	87
5 2 3 1 2 - Cisalhamento Direto Lento	88
6.0 - ESTUDOS BÁSICOS	89
6.1 - VERTEDOURO NO LAGO CATU	90
6 2 1 - Local da Barragem Cinzenta	92
6 2 2 - Análise da Estabilidade	92
6 2 3 - Tomada d'Água	93
6 2 4 - Vertedouro	94

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



1.0 - APRESENTAÇÃO

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC

000007



1.0 - APRESENTAÇÃO

Estamos apresentando o Relatório do Projeto Básico da Barragem Cinzenta, no Rio Catu, próximo ao Distrito de Guarda, no Município de Aquiraz, Ceará, objeto do Contrato N° 044/95 e Ordem de Serviço N° 011/95

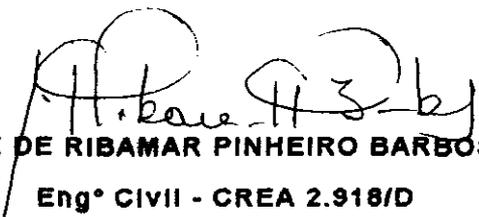
O Projeto Básico da barragem é apresentado nos seguintes volumes:

- Volume 1 - Texto,
- Volume 2 - Anexos;
- Volume 3 - Memória de Cálculo,
- Volume 4 - Orçamento;
- Volume 5 - Especificações.

Este volume é desenvolvido a seguir abordando os seguintes tópicos:

- Localização e Acesso;
- Estudos Topográficos,
- Estudos Hidrológicos;
- Estudos Geológicos e Geotécnicos,
- Projeto Básico.

Fortaleza, 25 de setembro de 1.995.


JOSÉ DE RIBAMAR PINHEIRO BARBOSA

Eng° CIVIL - CREA 2.918/D

C:\WINWORD\RELATORIO\T204195.DOC



2.0 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC

GEONORTE - Engenharia de Solos e Fundações Ltda.

Rua Jorge Sevenano, 900 - Vila União - Fone 272 4777 - Fax 272 7799 - CEP 60 420-180 - Fortaleza - Ceará

C G C 07 542 392/0001-60 - C G F 06 013 384-8

000009



2.0 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O local proposto pela GEONORTE para a implantação do vertedouro tipo "CREAG", com bacia de dissipação, fica situado a cerca de 3,7 km da foz do Rio Catu. O acesso ao lado vertedouro proposto é feito, a partir da cidade de Aquiraz seguindo na direção Sudeste por cerca de 4,5 km, sendo 2,5 km em estrada pavimentada com pedra tosca e 2,0 km em estrada carroçável

O local proposto pela GEONORTE para a implantação da Barragem Cinzenta fica situado no Rio Catu a cerca de 1,7 km a Sudeste do distrito de Guarda, no Município de Aquiraz. O acesso ao local do eixo da barragem é feito a partir da cidade de Aquiraz, pela CE-040, percorrendo cerca de 9,0 km e passando pela ponte sobre o Rio Catu e a entrada da cidade de Iguape. Toma-se a esquerda uma estrada pavimentada em pedra tosca, com extensão de 1,0 km até o distrito de Pataca, onde se pega uma estrada carroçável com extensão de cerca de 16,0 km, passando pelas localidades de Araça e Miguel Dias, até alcançar o distrito de Guarda. Daí, segue-se pela mesma estrada até a entrada da Fazenda do Sr Ruver, onde se encontram os marcos de concreto, implantados pela GEONORTE, para a locação topográfica e materialização do eixo barrável. Um outro acesso ao local do eixo barrável, partindo-se de Fortaleza, é feito pela BR-116 até o Km 32, passando pela entrada da cidade de Itaitinga e pelo presídio Paulo Sarasate. Do Km 32 da BR-116, toma-se uma estrada de pavimentação em pedra tosca, a esquerda, e percorre 1,0 km, passando pelos distritos de Croatá e Justiniano de Serpa, do Município de Horizonte. Daí em diante, toma-se novamente a esquerda uma estrada carroçável, percorrendo cerca de 12,0 km, passando pelo distrito de Russega, até finalmente chegar a entrada da Fazenda do Sr. Ruver

A seguir é mostrado no Desenho Nº 01 a Planta de Situação.

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



3.0 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

C:\WINWORD\RELATOR\IT204195.DOC



3.0 - ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os estudos topográficos realizados na Bacia Hidrográfica do Rio Catu consistiram nos seguintes serviços.

a) No Lago Catu

- Levantamento planialtimétrico da área de implantação do vertedouro;
- Poligonal de apoio pela margem esquerda do lago Catu;
- Levantamento batimétrico do lago Catu;
- Implantação de marcos de amarração

b) Na Barragem Cinzenta

- Levantamento planialtimétrico de dois boqueirões;
- Levantamento planialtimétrico de duas áreas para implantação de vertedouro,
- Levantamento planialtimétrico de eixos para variante da estrada existente;
- Implantação de marcos de amarração.

3.1 - NO LAGO CATU

3.1.1 - Levantamento Planialtimétrico da Área de Implantação do Vertedouro

No local do barramento atualmente existente do Lago Catu, foi realizado o levantamento topográfico planialtimétrico da área de interesse por meio da implantação de quatro linhas base de apoio denominadas A, B, C e D que foram estaqueadas e materializadas no

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



campo, por meio de piquetes de madeira roliça e estacas testemunhas, de 20 em 20 metros. A linha "A" ficou com 300 metros de extensão, 15 estacas, a linha "B" ficou com 140 metros de extensão, 7 estacas, a linha "C" ficou com 200 metros de extensão, 10 estacas e a linha "D" ficou com 60 metros de extensão, 3 estacas. Todas essas linhas bases estão amarradas entre si.

Em cada estaca de cada uma dessas linhas bases foi realizado um seccionamento em extensões variáveis mas que no conjunto permitiram descrever a altimetria da área em estudo.

A locação dessas poligonais foi feita por teodolito com as medidas horizontais feitas com trena de fibra de vidro

O nivelamento e contranivelamento foi feito com nível automático. As cotas foram referidas às altitudes do IBGE. Adotou-se como RN de partida o marco N° 1613-L com cota 14,139 metros situado na soleira da porta da Igreja Matriz da Cidade de Aquiraz.

Os resultados desse levantamento são apresentados no Desenhos N°s 01 e 02 do Anexo A - Estudos Topográficos.

3.1.2 - Poligonal de Apoio, pela Margem Esquerda do Lago Catu

Como forma de apoiar o levantamento batimétrico do Lago Catu, foi implantada uma poligonal aberta, pela margem esquerda, com 9 500 metros de extensão e 85 estacas. As estações foram materializadas no campo por piquetes e identificadas por estacas testemunhos. A locação desta poligonal foi feita por teodolito e as extensões horizontais obtidas indiretamente por taqueometria. A distância máxima entre as estacas foi de 300m e a mínima de 50m

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



O nivelamento de todas as estacas foi realizado com nível automático sendo o RN de partida o marco do IBGE N° 1613-R, na varanda direita da ponte sobre o Rio Catu da CE-040, com cota igual a 10,524 metros. Os resultados do levantamento desta poligonal são apresentados no Desenho N° 03 do Anexo A - Estudos Topográficos.

3.1.3 - Levantamento Batimétrico do Lago Catu

O levantamento batimétrico do Lago Catu foi realizado apoiado na poligonal citada no item 4.1.2. Após exame local determinou-se a direção azimutal do seccionamento. As seções foram traçadas segundo esta direção determinada por teodolito e fixada no lago pela colocação de uma linha de Nylon contendo bóias de isopor espaçadas de 50 em 50 metros. As leituras das profundidades do nível d'água ao longo desta seção foram feitas nos locais das bóias, utilizando uma trena de fibra de vidro com um peso fixado em uma de suas extremidades. As seções foram espaçadas no máximo em 300 metros. As diversas cotas do fundo da lagoa foram obtidas por diferença entre a cota do nível d'água e as profundidades medidas

Os resultados deste levantamento são apresentados no Desenho N° 03 no Anexo A - Estudos Topográficos.

3.1.4 - Implantação de Marcos de Amarração

Todos os serviços topográficos realizados no Lago Catu estão amarrados a dois marcos de concreto indicados em planta no Desenhos N°s 01 e 03 do Anexo A - Estudos Topográficos.

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



3.2 - NA BARRAGEM CINZENTA

3.2.1 - Levantamento Planialtimétrico dos Boqueirões

Nos dois eixos identificados em campo como possíveis alternativas de barramento na construção da Barragem Cinzenta foi realizado um levantamento planialtimétrico a seguir descrito;

No Eixo 1 - Este eixo coincidente com a estrada carroçável de ligação do distrito de Guarda a BR-116. Neste eixo foram locadas 66 estacas, sendo a estaca inicial a zero e a final a 65, espaçadas de 20 em 20 metros ficando a estaca zero na entrada da Fazenda do Sr Ruver Erculano. A locação foi realizada com teodolito e as distâncias horizontais medidas com trena de fibra de vidro. Todas as estacas foram materializadas em campo com piquetes e identificação por estacas testemunhos.

O nivelamento de todas as estacas foi realizado com nível automático. O RN de partida adotado foi o marco do IBGE N° 1682-M localizado no Km 32 da BR-116 com cota 56,158 metros.

O seccionamento foi feito nas estacas espaçadas de 40 em 40 metros cobrindo uma faixa mínima de 40 metros para cada lado.

Os resultados deste levantamento são apresentados nos Desenhos N°s 04, 05 e 06 do Anexo A - Estudos Topográficos

No Eixo 2 - Este eixo está situado a cerca de 550 m a jusante do Eixo 1. Nele foram locadas 46 estacas, sendo que a estaca inicial foi a -10-B e final a 35B. A estaca inicial deste levantamento esta situada na ombreira esquerda do boqueirão. A locação foi realizada com teodolito e as distâncias horizontais medidas com trena de fibra de vidro.

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC



Todas as estacas foram materializadas no campo com piquetes e identificadas por estacas testemunhos.

O nivelamento de todas as estacas foi realizado com nível automático. O RN de partida adotado foi o marco do IBGE N° 1682-M localizado no Km 32 da BR-116 com cota 56,158 metros.

O seccionamento foi realizado em dois trechos, a saber: o primeiro, da estaca 0B a 35B, o seccionamento foi feito nas estacas espaçadas de 40 em 40 metros cobrindo uma faixa mínima de 40 metros para cada lado, o segundo, da estaca 0B a -10B, o seccionamento foi feito nas estacas espaçadas de 20 em 20 metros cobrindo uma faixa mínima de 40m para cada lado e uma faixa máxima variável, até atingir a cota 28,000 metros, para cada lado

Os resultados deste levantamento são apresentados nos Desenhos N°s 04, 07 e 08 do Anexo A - Estudos Topográficos.

3.2.2 - Levantamento Planialtimétrico dos Vertedouros

Nas duas áreas identificadas em campo como possíveis alternativas de canal vertedouro da Barragem Cinzenta foi realizado um levantamento planialtimétrico a seguir descrito.

No Eixo 1 - A ombreira esquerda deste boqueirão foi o local escolhido para o canal vertedouro, caso este eixo seja o escolhido para a construção da Barragem Cinzenta Na área escolhida foram locadas 10 estacas, sendo que a estaca inicial foi a 0AA = 47A e a final a 9AA+4,00m = 56+4,00m Este eixo locado possui uma deflexão a direita de 31°00'00" com o Eixo 1 A locação foi realizada com teodolito e as distâncias horizontais medidas com trena de fibra de vidro Todas as estacas foram



materializadas no campo, com piquetes de madeira e identificadas por estacas testemunhos.

O nivelamento de todas as estacas foi realizado com nível automático. O RN de partida adotado foi o marco do IBGE Nº 1682-M localizado no Km 32 da BR-116, com cota 56,158 metros.

O seccionamento foi feito entre as estacas 47A e 55A, do eixo 1, espaçadas de 20 em 20 metros, cobrindo uma faixa mínima de 40m para cada lado e uma faixa máxima variável, até atingir a cota 28,000 metros, para cada lado

Os resultados deste levantamento são apresentados nos Desenhos Nºs 05 e 06 do Anexo A - Estudos Topográficos.

No Eixo 2 - A ombreira esquerda deste boqueirão foi o local escolhido para o canal vertedouro, caso este eixo seja o escolhido para a construção da Barragem Cinzenta Na área escolhida foram locadas 11 estacas, sendo que a estaca inicial foi a 0B e a final a -10B, coincidentes com o eixo levantado. A locação foi realizada com teodolito e as distâncias horizontais medidas com trena de fibra de vidro. Todas as estacas foram materializadas no campo, com piquetes de madeira e identificadas por estacas testemunhos.

O nivelamento de todas as estacas foi realizado com nível automático O RN de partida adotado foi o marco do IBGE Nº 1682-M localizado no Km 32 da BR-116, com cota 56,158 metros.

O seccionamento foi feito entre as estacas 0B e -10B, espaçadas de 20 em 20 metros, cobrindo uma faixa mínima de 40m para cada lado e uma faixa máxima variável, até atingir a cota 28,000 metros, para cada lado.

C:\WINWORD\RELATOR\IT204195.DOC



Os resultados deste levantamento são apresentados nos Desenhos N^os 07 e 08 do Anexo A - Estudos Topográficos.

3.2.5 - Levantamento Planialtimétrico de Eixos para Variante da Estrada

Caso o Eixo 2 seja o escolhido para a construção da Barragem Cinzenta, parte da estrada carroçável de comunicação do distrito de Guarda a BR-116 ficará submersa ao lago da barragem. Por isso, foi estudado uma alternativa de desvio da atual estrada, incorporando-a ao aterro da barragem por suas ombreiras.

Na ombreira esquerda foi realizado um levantamento topográfico planialtimétrico, iniciado na estaca -10B = 0, no Eixo 2, e finalizada na estaca 64A = 46+2,00m, no Eixo 1, denominado Acesso 1, tendo ao todo 46 estacas

Na ombreira direita foi realizado um levantamento topográfico planialtimétrico, iniciado na estaca 35B = 0, no eixo 2, e finalizado na estaca 0A, no Eixo 1, denominado Acesso 2, tendo ao todo 26 estacas

A locação do Acesso 1 e 2 foi realizado por teodolito e as distâncias horizontais medidas com trena de fibra de vidro. Todas as estacas foram materializadas no campo, com piquetes de madeira e identificadas por estacas testemunhos.

O nivelamento de todas as estacas foi realizado com nível automático. O RN de partida adotado foi o marco do IBGE N^o 1682-M localizado no Km 32 da BR-116, com cota 56,158 metros



Os resultados deste levantamento é apresentado no Desenho N° 04 no Anexo A - Estudos Topográficos.

3.2.4 - Implantação de Marcos de Amarração

Todos os serviços topográficos realizados na Barragem Cinzenta estão amarrados a marcos de concretos indicados em planta no Desenho N° 03 no Anexo A - Estudos Topográficos

3.3 - CÁLCULOS ELABORADOS

Para a compilação dos dados topográficos levantados em campo na bacia do Rio Catu foi utilizado o sistema topograph 3.0. A listagem das poligonais, a listagem das seções e os cálculos elaborados são apresentados no Anexo A - Estudos Topográficos



4.0 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

C:\WINWORD\RELATORIO\T204195.DOC



4.0 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos consistiram basicamente no estudo de aproveitamento hídrico da bacia hidrográfica do Rio Catu, no Município de Aquiraz, Ceará.

Os estudos executados são apresentados a seguir, de acordo com o aspecto abordado, dividido nos seguintes itens:

- Estudos Hidroclimatológicos;
- Estudos Pluviométricos;
- Estudos de Deflúvios;
- Cheia de Projeto Dimensionamento do Vertedouro;
- Curvas de Regularização do Reservatório;
- Estudos Adicionais

4.1 - ESTUDO HIDROCLIMATOLÓGICO

A seguir apresentamos os elementos utilizados no estudo da climatologia da Bacia do Rio Catu.

4.1.1 - Caracterização Climatológica

A abordagem da climatologia aqui desenvolvida visa dar subsídios as etapas subsequentes dos estudos realizados na bacia do Catu, principalmente àquelas relacionadas ao aproveitamento dos seus recursos hídricos

A bacia do Rio Catu drena uma área de 166,9 km². A referida bacia não tem localizada em seus domínios nenhuma estação hidroclimatológica, sendo por isso utilizada como estação representativa a

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC



de Fortaleza, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991)¹

4 1 1 1 - Principais Parâmetros

4 1 1 1 1 - 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 T_{12} e T_{24} TMG, T_{MAX} e T_{MIN} 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,

T_{comp} - Temperatura média compensada

T_{12} - Temperatura observada às 12:00 TMG

T_{24} - Temperatura observada às 24.00 TMG

T_{MAX} - Temperatura máxima do dia

T_{MIN} - Temperatura mínima do dia

A temperatura compensada apresenta uma pequena variação de 1,6 °C, isso para os meses de julho (25,7 °C), dezembro e janeiro (27,3 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem

¹ INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.
C:\WINWORD\RELATOR\IT204195.DOC



respectivamente nos meses de novembro e dezembro(30,7 °C) e Junho (22,1 °C), conforme se observa no quadro 4.1.1 e figura 4 1.1.

Quadro 4.1 1 - Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°C) na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máxima	30,5	30,1	29,7	29,7	29,1	29,6	29,5	29,1	29,2	30,5	30,7	30,7
Comp.	27,3	26,7	26,3	26,5	26,3	25,9	25,7	26,1	26,6	27,0	27,2	27,3
Mínima	24,7	23,2	23,8	23,4	23,4	22,1	21,8	22,8	23,4	24,5	24,4	24,6

FONTE INEMET (1991)

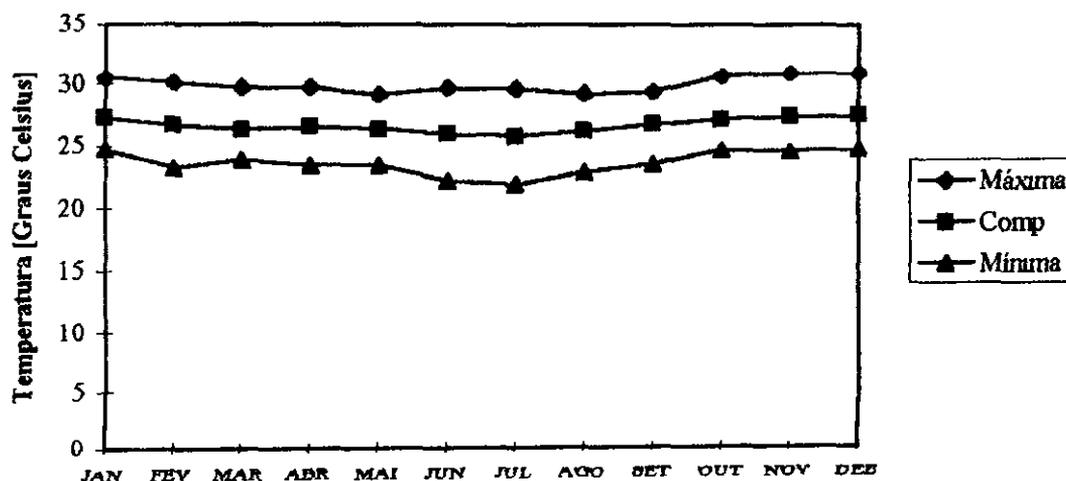


Figura 4.1.1-Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas na estação de Fortaleza

4 1 1 1 2 - Umidade Relativa



A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 12% referente aos meses de Abril (85%) e Outubro (73%), como pode-se verificar no quadro 4.1.2 e figura 4.1.2.

Quadro 4.1.2 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
%	78	79	84	85	82	80	80	75	74	73	74	76

FONTE: INEMET (1991)

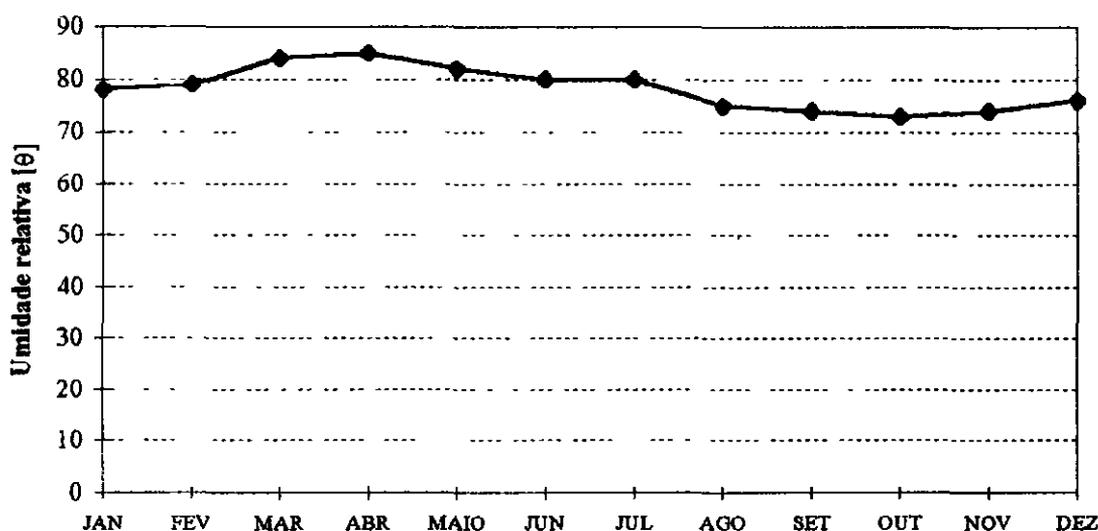


Figura 4.1.2 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza

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 unidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

4.1.1.3 - Insolação Média

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC

O quadro 4.1.3 e a figura 4.1.3 mostram, respectivamente, o número de horas de exposição no local da estação de Fortaleza e sua distribuição mensal. Em termos atuais, no mesmo período, tem-se 2694 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 62% dos dias do ano possuem incidência solar direta. O trimestre fevereiro/março/ abril, apresenta os menores valores devido ser o trimestre mais chuvoso, caracterizando um maior albedo

Quadro 4 1.3 - Insolação Média na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
horas	216	175	148	153	209	240	263	169	283	296	283	257

FONTE INEMET (1991)

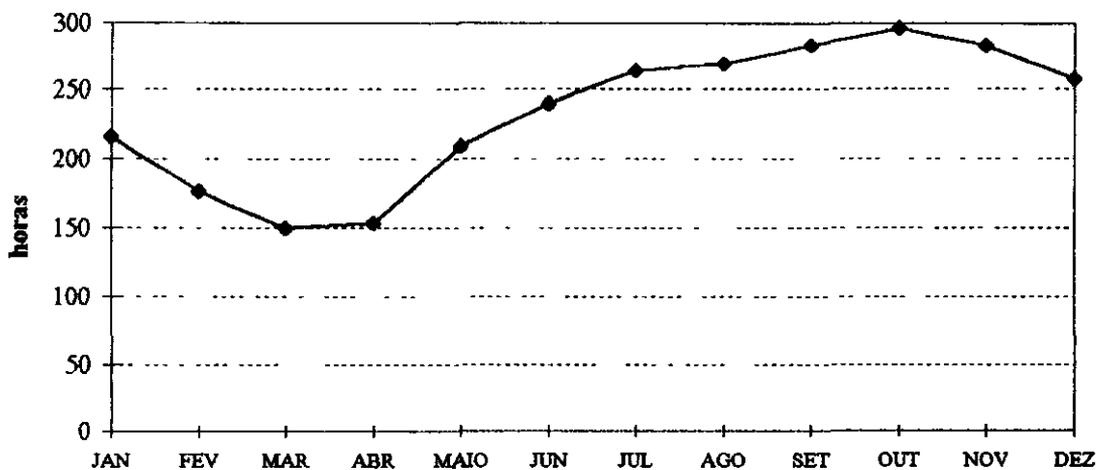


Figura 4.1.3 - Insolação Média na estação de Fortaleza

4 1 1 1 4 - Ventos

A intensidade do vento é medida nos horários sinóticos de observação, a uma altitude de 10 m em relação a estação. Da mesma

C:\WINWORD\RELATOR\T204185.DOC



forma, a direção do vento também é medida nos três horários sinóticos, indicando a direção de onde o vento se origina.

A estação de Fortaleza apresenta suas velocidades médias dos ventos descrita no Quadro 4.1.4 Esta região a direção reinante dos ventos está dentro do quadrante Sudeste/Leste

Quadro 4.1 4 - Velocidade Média dos Ventos na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
m/s	3,6	3,1	2,4	2,3	2,8	3,1	3,5	4,4	4,9	4,6	4,5	4,5

FONTE: PERH(1992)

4 1 1 1 5 - Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe "A" é de 1468 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o quadro 4.1.5 e figura 4 1.4

Quadro 4.1.5 - Evaporação Média na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	120	96	72	68	85	95	118	152	167	173	168	154

FONTE INEMET (1991)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (173,5 mm). Deve-se ressaltar, entretanto, que para adotar estes valores como representativos da evaporação em açudes, principalmente pequenos e médios, deve-se multiplicar estes valores por um coeficiente

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



entre a evaporação do açude e a evaporação no Tanque Classe A (K_a). Molle (1989) aconselha os valores mostrados no quadro 4.1.6 para K_a , em função da superfície do espelho.

Quadro 4 1.6 - K_a em função da superfície do espelho d'água

Superfície (ha)	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 30	média
K_a	0,95	0,87	0,82	0,75	0,84

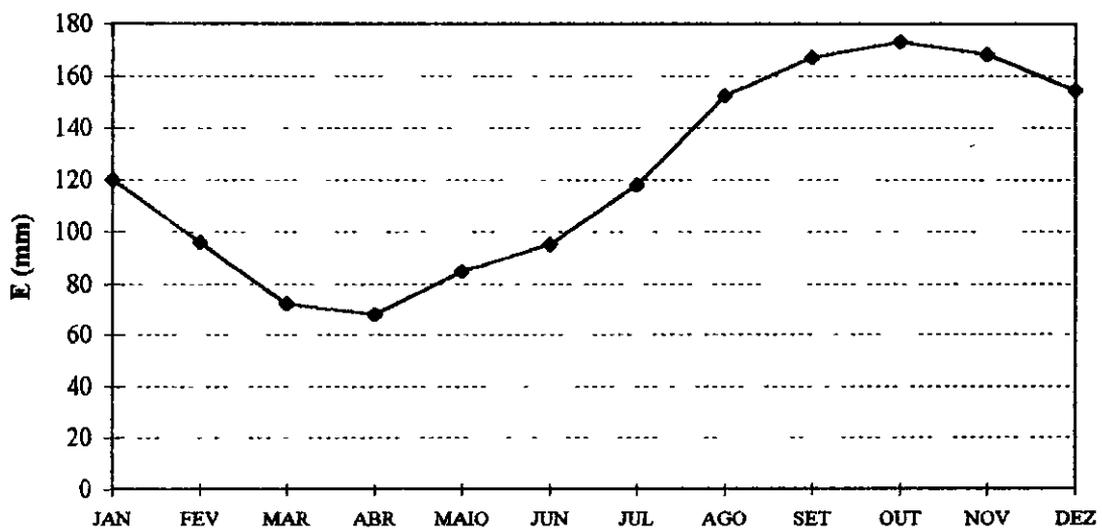


Figura 4 1.4 - Evaporação Média na estação de Fortaleza

4 1 1 1 6 - Evapotranspiração

O quadro 4.1.7 apresenta a evapotranspiração potencial mensal obtida segundo Thornthwaite e Mather, totalizando 1647.4 mm. A figura 4.1 5 confronta os valores do quadro 4.1.7 com os valores da precipitação média. Percebe-se, como característica, o déficit hídrico em mais da metade do ano, com exceção dos meses de fevereiro a junho. Este fato demonstra, como é conhecido qualitativamente para as regiões semi-áridas, a necessidade da aplicação artificial de água



Quadro 4.1 7 - Evapotranspiração Potencial (Thorntwaite & Mather) na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	154 5	129 9	134 4	132 9	131 8	120 8	120 9	129 3	134 8	149 7	150 9	157 5

FONTE: PERH (1990)

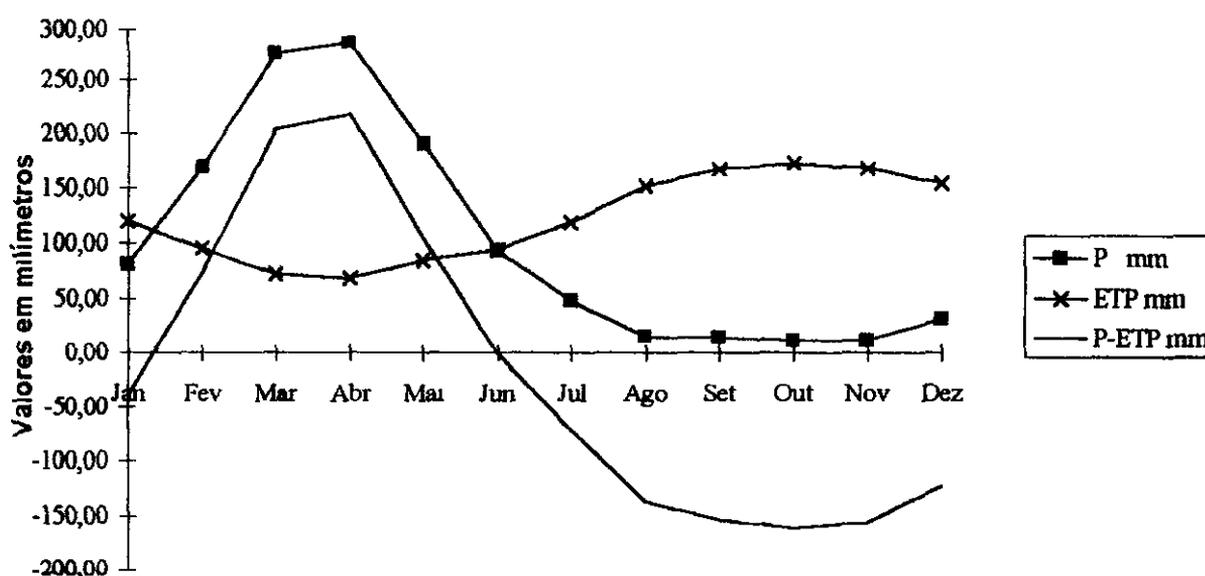


Figura 4.1.5-Balanço Hídrico

4.1 1 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.

C:\WINWORD\RELATOR\INT204185.DOC



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 o quadro 4.1 8.

Quadro 4 1.8 - 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	80,85	120,10	-39,25	0,00	0,00	0,00	80,85	39,25	0,00
Fev	168,05	95,50	72,55	32,00	72,55	72,55	95,50	0,00	0,00
Mar	276,00	72,40	203,60	0,00	100,00	27,45	72,40	0,00	176,15
Abr	286,10	68,10	218,00	0,00	100,00	0,00	68,10	0,00	218,00
Mai	191,05	84,60	106,45	0,00	100,00	0,00	84,60	0,00	106,45
Jun	93,80	94,70	-0,90	0,90	100,00	0,00	93,80	0,90	0,00
Jul	47,55	118,30	-70,75	71,65	48,00	-52,00	99,55	18,75	0,00
Ago	14,15	151,80	-137,65	209,30	12,00	-36,00	50,15	101,65	0,00
Set	13,65	167,80	-154,15	363,45	2,00	-10,00	23,65	144,15	0,00
Out	10,30	173,50	-163,20	526,65	0,00	-2,00	12,30	161,20	0,00
Nov	11,00	168,10	-157,10	683,75	0,00	0,00	11,00	157,10	0,00
Dez	30,85	154,30	-123,45	807,20	0,00	0,00	30,85	123,45	0,00
ANO	1223,35	1469,20	-245,85		534,55	0,00	722,75	746,45	500,60

4.1 1.3 - Classificação do Clima

4 1 1 3 1 - Classificação segundo Thornthwaite

Segundo esta classificação, além da característica pluviométrica e térmica, a evapotranspiração potencial é também considerada elemento determinante do clima. Como forma de auxiliar na classificação de tipos e subtipos climáticos, três parâmetros foram introduzidos por Thornthwaite, a saber:

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

**- Índice de aridez:**

O índice de aridez vem a ser a deficiência hídrica expressa em porcentagem da evapotranspiração potencial, este índice apresentou o valor 43 (quadro 4.1.8)

- índice de umidade:

O índice de umidade é o excesso de água (Exc) expresso em porcentagem da necessidade que é representado pela evapotranspiração potencial (ETP), este índice apresentou um valor de 18 (quadro 4.1.8).

- Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou deficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a -8 (quadro 4.1.8)

Com base nestes índices, os dados para a área de estudo, mostram um clima seco e sub-úmido, tipo C1, com índice efetivo de umidade variando entre 0% e -20%; sub-tipo S, com índice de aridez superior a 33%; tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (C1SA'a')

4 1 1 3 2 - Classificação segundo Koeppen

Segundo Koeppen existem cinco zonas diferentes de clima na terra, associadas a valores de temperatura e precipitação de acordo com a vegetação.

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC



De acordo com esta classificação, a região do estudo encontra-se classificada como Zona de Climas secos, tipo B. As chuvas são classificadas devido a sua sazonalidade como do tipo W, estação seca de inverno. O clima, segundo o aspecto térmico, é do tipo h, quente, já que sua temperatura média anual é superior a 18 °C. Sendo pois o clima da região em estudo classificado como BWh.

4.2 - 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 de série pluviométrica média para as bacias hidrográficas dos açudes de médio e grande porte.

4.2.1 - Dados Utilizados

A série pluviométrica bruta utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Vetor Regional (HIEZ, 1978), destinado à identificação de inconsistências nas série histórica. Estas inconsistências podem ser originadas por erros de observação, podendo tais erros ocorrerem sistematicamente ou isoladamente em um certo período.

Apenas dois postos foram utilizados neste estudo, ambos próximos à área de interesse, bacia do riacho Catu com uma área de 166,9 km², sendo o primeiro posto o posto Aquiraz (2873824), homônimo de sua localidade, próximo a foz do Riacho Catu, e o segundo, o posto Açude

C:\WINWORD\RELATOR\INT204195.DOC



Riachão (2882188) nas proximidades da cabeceira da bacia. Na estimativa dos dois vetores regionais, um a nível anual e o outro a nível mensal, foram utilizados 9 postos reunidos no grupo regional de Fortaleza, (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.

O quadro 4 2 1 mostra os postos pluviométricos que compõem o grupo regional de Fortaleza, ou seja, aqueles utilizados na formação do Vetor Regional, do qual fazem parte os postos Aquiraz e Açude Riachão (sombreados), utilizados para este estudo. Como pode-se observar para a bacia do riacho Catu (postos sombreados), existe um gradiente positivo dos totais anuais à medida que se aproxima do litoral; partindo-se de cerca de 1070 mm nas proximidades da cabeceira da bacia até próximo dos 1350 mm ao se chegar ao litoral.

C:\WINWORD\RELATOR\IT204195.DOC



Quadro 4 2 1 - Postos utilizados na formação do vetor GRUPO FORTALEZA

POSTO	CODIGO	COORDENADAS		ALTITUDE m	MÉDIA ANUAL mm
		LATITUDE	LONGITUDE		
Fortaleza Central	2872496	3°44'	38°32'	0026	1391,4
Fortaleza (Escola Regional)	2872594	3°45'	38°32'	0026	1414,5
Mondubim	2872684	3°48'	38°35'	0030	1236,3
Angicos	2883435	4°13'	38°20'	0035	835,5
Cascavel	2883256	4°08'	38°14'	0030	1304,1
Bau	2882268	4°07'	38°40'	0059	1233,8
Guaruba	2882076	4°02'	38°38'	0059	1157,8
Açude Riachão	2882188	4°04'	38°34'	0060	1069,9
Aquiraz	2873824	3°54'	38°23'	0030	1352,5

Fonte. DNAEE (1983)

4.2.2 - Caracterização do Regime Pluviométrico**4.2.2.1 - Nível Anual**

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) mostram a região da bacia do rio Jaguaribe e onde se acha assinalada a área do estudo. A área de estudo apresenta, segundo análise destas figuras, média pluviométrica entre 1000 e 1200 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40

Uma análise freqüencial foi realizada para os postos de Aquiraz e Açude Riachão, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Log-Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O quadro 4.2.2 resume esta análise de freqüência.

Quadro 4 2 2 - Análise de Freqüência dos Totais Anuais Distribuição Log-Pearson III

N anos	PERÍODOS DE RETORNO (ANOS)					
	5	10	50	100	500	1000
2873824 - Aquiraz						
47	2042,92	2417,60	3195,24	3510,00	4217,83	4516,39
2882188 - Açude Riachão						
51	1415,65	1640,77	2117,68	2315,88	2775,48	2975,96

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



4 2.2.2 - Nível Mensal

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 Março/Abril/Maio. Neste trimestre o mês de abril corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 23% do total anual.

No quadro 4.2 3 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no quadro 4 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 5 a 1000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Log-Pearson III.

Quadro 4 2 3 - Índices de Concentração Fluviométrica Serie de Valores Médios Mensais

MENSAL			TRIMESTRAL			SEMESTRAL		
mês	valor	%ano	tri	valor	%ano	sem	valor	%ano
2873824								
ABRIL	351,4	22,8	MAM	935,4	60,7	1	1372,3	89,0
2882188								
ABRIL	264,21	24,5	MAM	682,9	63,3	1	999,3	92,6

Quadro 4 2 4 - Análise de Frequência a Nível Mensal Distribuição Log-Pearson III

N anos	PERÍODOS DE RETORNO (ANOS)					
	5	10	50	100	500	1000
2873824 - Aquiraz						
51	509,60	619,49	832,03	910,85	1071,63	1132,5 4
2882188 - Açude Riachão						
56	423,66	545,01	789,07	881,01	1068,02	1137,9 e

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC

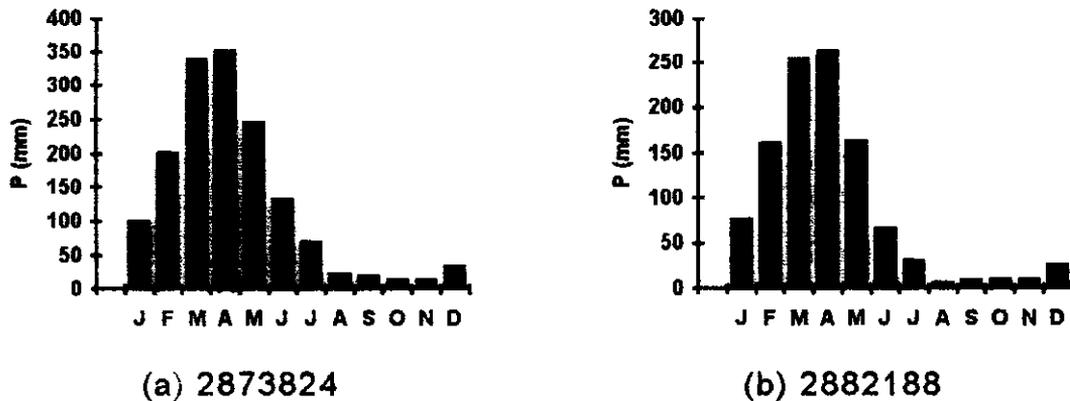


Figura 4.2 3 - Hietogramas de chuva média das estações Aquiraz (a) e Açude Riachão (b).

4.2.2 3 - Nível Diário

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico ou lenta, neste caso quando a massa de ar encontra obstáculos topográficos.

A probabilidade de ocorrência de dias chuvosos no período úmido é considerável. Em regiões de influência orográfica a ocorrência de até vinte dias chuvosos no mês não são incomuns

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta freqüência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários.

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as freqüências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Log-Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no quadro 4.2.5. Apresentamos no anexo E - Estudos Hidrológicos a análise de freqüência para a série de

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



máximos diários, mostrando através de estatísticas a melhor adequacidade da distribuição Log-Pearson III em relação a outras distribuições analisadas No anexo E - Estudos Hidrológicos também estão os resultados da comparação das diversas distribuições para os outros dois níveis aqui abordados. anual e mensal

Quadro 4 2 5 - Analise de Frequência a Nivel Diário Distribuição Log-Pearson III.

N anos	PERÍODOS DE RETORNO (ANOS)					
	5	10	50	100	500	1000
2873824 - Aquiraz						
51	14,71	26,35	79,10	119,85	293,22	422,57
2882188 - Açude Riachão						
57	12,11	19,94	48,41	66,57	128,55	166,44

4 2 2.4 - Chuvas Intensas

Para projetos de obras hidráulicas em geral é importante a caracterização do regime pluviométrico em intervalos de tempo inferiores a 24 horas A definição da vazão de projeto, por exemplo de canais integrantes da rede de drenagem, obras d'arte, está vinculada a determinação da relação intensidade-duração-freqüência pluviométrica.

Para caracterização do regime de chuvas intensas da região pode-se sem dúvida utilizar-se da tradicional equação de chuvas intensas de Fortaleza, mostradas a seguir:

$$i = \frac{528,076 T^{0,148}}{(t + 6)^{0,62}}, \text{ para } t \leq 120 \text{ min.} \quad \text{e} \quad i = \frac{54,50 T^{0,194}}{(t + 1)^{0,86}}, \text{ para } t > 120 \text{ min.}$$

onde i é a intensidade de chuva (mm/h), T o tempo de retorno (anos) e t a duração em minutos para a primeira fórmula e em horas para a segunda.

A figura 4.2.4 mostra as curvas altura-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno A chuva pontual (figura II.4) foi convertida em chuva para toda a bacia (figura 4 2 5) pela equação.



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

onde W = 0,15 (coeficiente regional para zonas áridas e semi-áridas);

P_A = Precipitação sobre toda a área;

P₀ = Chuva pontual,

A = 166,9 km² (área da bacia);

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

obtendo-se um fator de redução igual a 0,87 (1-W log(A/A₀)). O quadro 4.2.6 apresenta a chuva de projeto sem redução e com a aplicação do fator redutor de área

Quadro 4.2.6 - Chuva de Projeto (mm)

DURAÇÃO (h)	PERÍODOS DE RETORNO				
	100	200	500	1000	10000
CHUVA PONTUAL					
0 1	22,37	24,78	28,38	31,45	44,22
1	77,73	86,13	98,63	109,29	153,67
24	200,62	229,5	274,14	313,6	490,21
CHUVA REDUZIDA					
0 1	19,60	21,72	24,87	27,56	38,75
1	68,12	75,47	86,44	95,77	134,68
24	175,81	201,11	240,24	274,82	429,58

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC

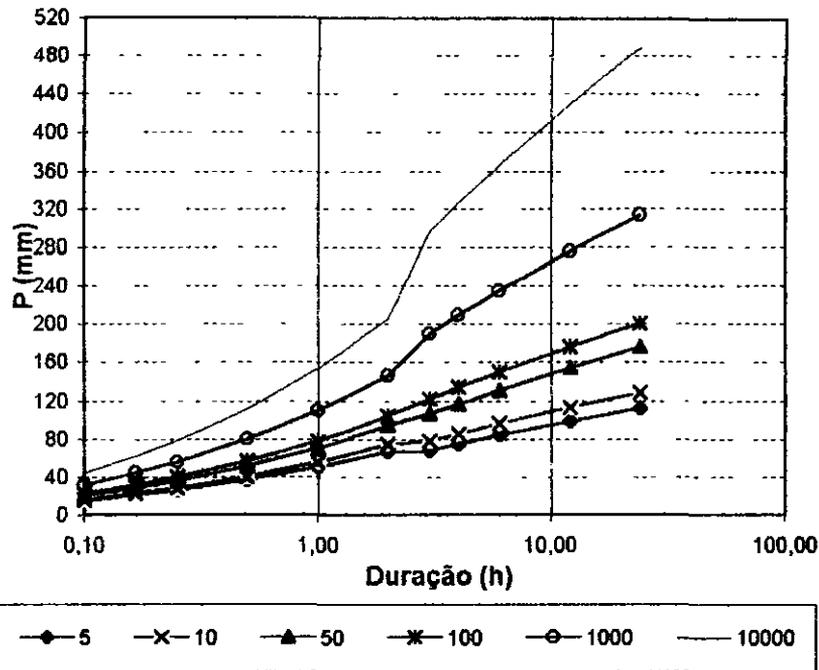


Figura 4.2 4 - Curvas Altura-Duração-Freqüência

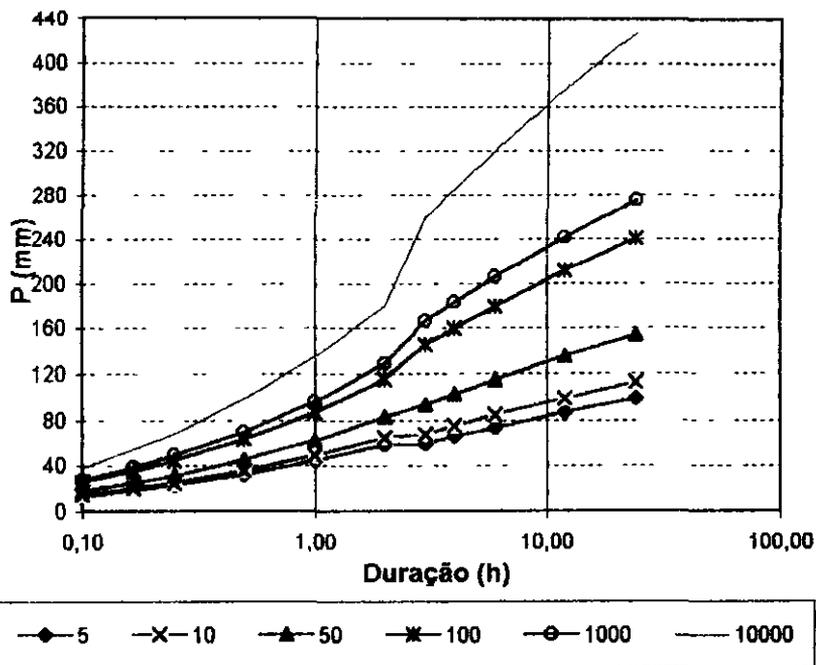


Figura 4 2 5 - Curvas Altura-Duração-Freqüência com redução de área

C:\WINWORD\RELATOR\IT204195.DOC



4.3 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS

O objetivo básico deste capítulo consiste na definição das séries de vazões afluentes ao Riacho Catu, produto das chuvas que ocorrem em sua bacia até às proximidades da cidade de Aquiraz. Estas séries fluviométricas podem ser utilizadas como base para estudos direcionados a estudos de construção de pequenos e médios açudes e para avaliação de alternativas para projetos de irrigação na área.

4.3.1 - Metodologia

A execução de projetos, tais como, o dimensionamento de reservatórios, requer a utilização de dados de séries fluviométricas. Devido ao elevado custo de implantação e manutenção das estações fluviométricas, o número destas é inferior ao de pluviométricas. No caso particular da bacia do Riacho Catu, não existe nenhum posto fluviométrico, tendo sido utilizado para a pluviometria, os postos Aquiraz (2873824) e Açude Riachão (2882188). Resta então fazer uso de modelos de transformação chuva-vazão, os quais permitem, a partir de séries pluviométricas e de valores dos parâmetros destes modelos, determinados em uma região de características semelhantes, gerar séries de dados fluviométricos para a região de interesse.

Como foi descrito anteriormente, na bacia ou na suas proximidades existem dados pluviométricos de estações próximas à área de estudo que foram consistidos e utilizados por ocasião da elaboração do PERH-CE. Estas informações serão utilizadas pelo modelo MODHAC³, esquematicamente apresentado na figura 4.3 1, o qual utiliza dados de precipitação média diária.

³ 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.

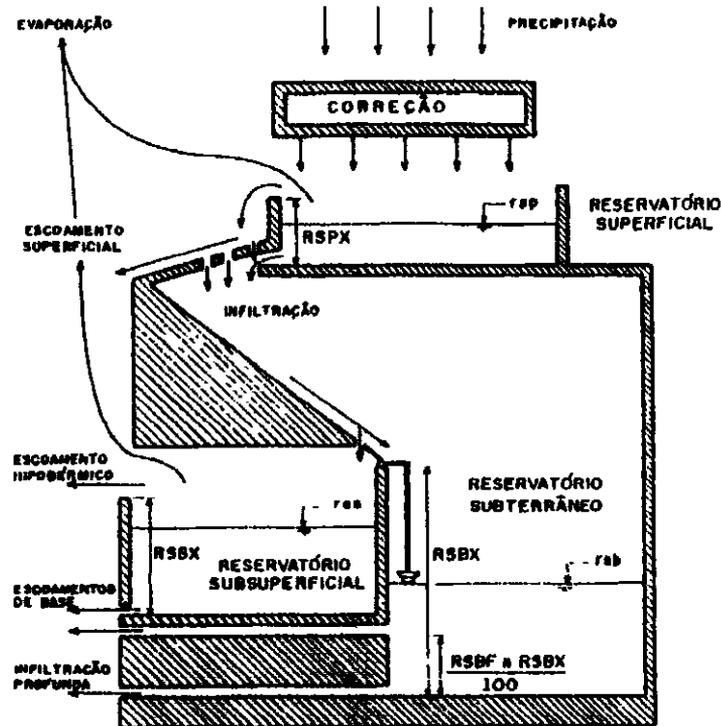


Figura 4.3.1 - Esquema do Modelo MODAHC

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 reservatório 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

Alem 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

4.3..2 - Dados Necessários

Os dados necessários para a calibração do MODHAC são: pluviometria diária, séries fluviométricas mensais/diárias e evapotranspiração potencial. Devido a inexistência de estações fluviométricas na bacia do Riacho Catu, optou-se por utilizar valores dos parâmetros do MODHAC obtidos na calibração deste em uma região próxima. Esta hipótese simplificadora assume que os parâmetros utilizados são representativos para simular os processos de transformação chuvavazão que ocorrem na bacia do Riacho Catu. Assim, a partir dos valores destes parâmetros obtidos pela calibração do MODHAC para o posto situado no Riacho Bau, afluente do Rio Pacoti, controlado por uma área de 239 km², é possível gerar séries de vazões a partir de séries de precipitações da área de interesse, e com extensão igual destas últimas. O quadro 4.3.1 apresenta os parâmetros utilizados pelo modelo MODHAC para geração de série de vazões mensais. A série gerada com uma extensão de 1937 a 1986, apresentada na figura 4.3.2, foi obtida a partir dos parâmetros escolhidos (posto Bau) e da precipitação média da bacia calculada com base nos postos de Aquiraz (2873824) e Açude Riachão (2882188).

Quadro 4.3.1 - Parâmetros Utilizados pelo Modelo MODHAC

RSPX mm	RSSX mm	RSB X	RSB F	IMAX mm/ dia	IMIN mm/ dia	IDEC	ASP	ASS	AS B	PRE D	CEVA
178,8	266,5	0 0	0,0	40,66	3,81	0,55	0,0010	0,0010	0,0	999,0	0,0801

Em anexo estão os relatórios de saída do modelo MODHACX para o período de simulação, de 1937 a 1986, contendo informações

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC



acerca da lâmina precipitada e escoada, evapotranspiração e do armazenamento em cada reservatório. O coeficiente de deflúvio, calculado pela razão entre a lâmina escoada e a precipitada, situa-se em torno de 17%. O regime de escoamento no local do barramento pode ser melhor caracterizado pelos seguintes valores

- lâmina anual média escoada = 149,6 mm
- volume anual médio escoado = 24,97 hm³
- coeficiente de variação dos deflúvios anuais = 0,73⁴

Na figura 4 3 3 encontra-se o Hidrograma Médio para o período de simulação

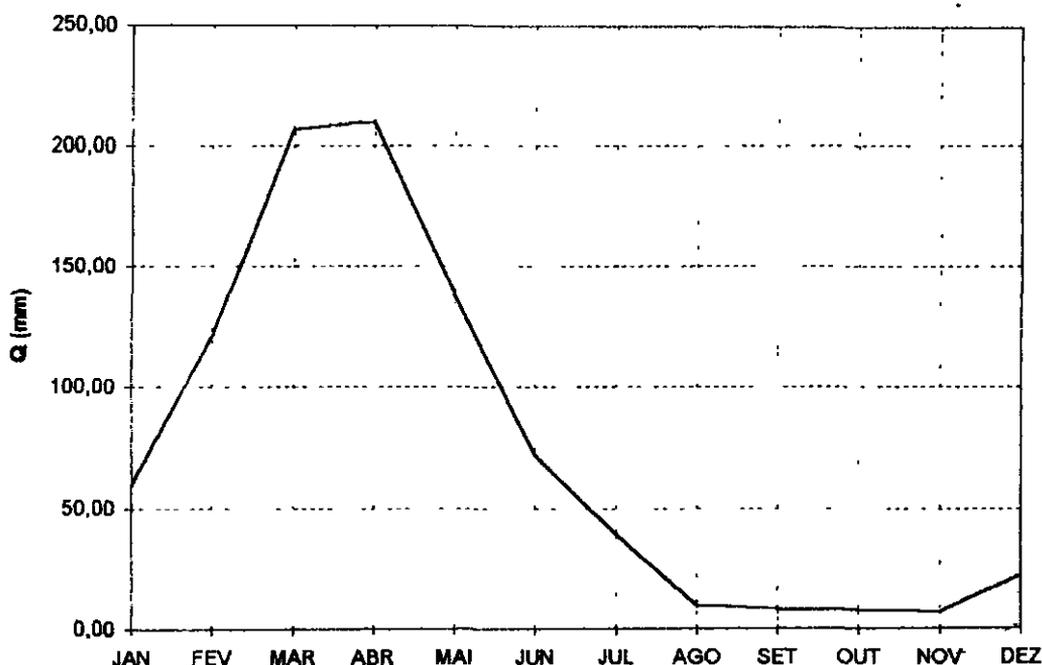


Figura 4 3 3 - Hidrograma Médio das Vazões Geradas pelo MODHACX

⁴ CAMPOS, J.N.B., VIEIRA, J.F. e MARTINS, E.S.P.R. (1995). "Política de Recursos Hídricos em Áreas Vulneráveis". In: Projeto Áridas-CEARÁ. Coordenação Geral: Secretaria de Planejamento.

C WINWORD\RELATOR\T204195.DOC





4.4 - CHEIA DE PROJETO: DIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

4.4.1 - Introdução

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento do vertedouro 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.

Em barragem pequenas, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso, podendo o período de retorno de 1000 anos ser suficiente

Deve-se deixar claro que o hidrograma de projeto resultante não terá vazão e volume com o mesmo risco, sendo que o risco associado está relacionado com a precipitação escolhida, o que não necessariamente é o mesmo risco da vazão ou do volume resultante. Assim, não é correto referir-se a cheia associada ao hidrograma de projeto com T anos de



período de retorno como sendo a cheia centenária ($T = 100$), decamilenar ($T = 10000$), entre outras.

No projeto em análise, Lagoa do Catu, foi realizado o estudo de cheias prevendo-se a construção de um reservatório a montante, Barragem Cinzenta. Também estudou-se as cheias sem a construção do último reservatório. Neste estudo não se está somente preocupado com a altura da lâmina vertida, mas também com o nível da água na seção localizada na ponte da CE-040 sobre o Rio Catu

4.4.2 - Metodologia

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que se utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados pela escassez de dados ou, ainda, sua inexistência. Esta falta de dados dos eventos na bacia a ser estudada indicaram 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 hietograma 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-1⁵

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Rio Catu 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

⁵US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 1990.
HEC-1 FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE - USERS MANUAL. 415 D



bacia foi estudada a sua resposta ao hietogramas de projeto correspondentes a 1000 anos (T_r = tempo de retorno).

O modelo HEC-1 permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (overland flow) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso da bacia do Riacho Catu, diante dos dados disponíveis, foi adotado o seguinte.

1. Método Curva-Número (Soil Conservation Service) na determinação da chuva efetiva,
2. Método do Soil Conservation Service na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (Overland flow);
3. Método de Puls para propagação do escoamento em reservatórios

4.4.2.1 - Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia do Rio Catu foi assumido uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas freqüentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-freqüência obtida nos estudos hidroclimatológicos, sendo ajustado à área da bacia usando a seguinte equação.

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



onde

$W = 0,22$ (coeficiente regional para zonas áridas e semi-áridas);

P_A = Precipitação sobre toda a área;

P_o = Chuva pontual,

$A = 166,9 \text{ km}^2$ (área da bacia);

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

obtendo-se um fator de redução igual a 0,91 ($1-W.\log(A/A_o)$). O quadro 4.4.1 apresenta a chuva de projeto sem redução e com a aplicação do fator redutor de área, como já apresentado no Item 4.1 - Estudos Hidroclimatológicos).

Quadro 4.4 1 - Chuvas Pontual e Reduzida

DURAÇÃO (h)	PERIODOS DE RETORNO				
	100	200	500	1000	10000
CHUVA PONTUAL					
0 1	22,37	24,78	28,38	31,45	44,22
1	77,73	86,13	98,63	109,29	153,67
24	200,62	229,5	274,14	313,6	490,21
CHUVA REDUZIDA					
0 1	19,60	21,72	24,87	27,56	38,75
1	68,12	75,47	86,44	95,77	134,68
24	175,81	201,11	240,24	274,82	429,58

A partir das curvas de chuva reduzida, foi obtida a precipitação associada aos tempos de retorno de 100 e 1000 anos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h



O hietograma de projeto tem uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich:

$$T_C = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

onde T_C = tempo de concentração em minutos; L = comprimento do maior talvegue em km, ΔH = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório Logo, para a bacia do Riacho Catu tem-se:

Seção Lago do Catu . $L =$ km

$$\Delta H = m$$

e

Seção Bar. Cinzenta . $L =$ km

$$\Delta H = m$$

o que resulta $T_C = 12,3$ h ; $T_{LAG} = 7,4$ h para a Lago do Catu, e $T_C = 5,43$ h , $T_{LAG} = 3,26$ h para a Barragem Cinzenta.

O HEC-1 utiliza estes dados para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tormenta (tormenta balanceada) Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos através das equações do HYDRO-35 (National Weather Service, 1977):

$$P_{10min} = 0,41 P_{5min} + 0,59.P_{15min}$$

$$P_{30min} = 0,51.P_{15min} + 0,49.P_{60min}$$

C:\WINWORD\RELATOR\IT204195.DOC



onde P_n é a precipitação para a duração de n minutos.

4.4.2.2 - Precipitação Efetiva

O modelo HEC-1 refere-se a interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração como perdas de precipitação, ou seja, a parcela da precipitação que não contribui para gerar escoamento é considerada perda, sendo o restante, considerado precipitação efetiva.

O cálculo das perdas de precipitação podem ser usadas nos outros componentes do modelo HEC-1, em especial, hidrograma unitário. No caso do hidrograma unitário, estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia)

De maneira geral, existem três metodologias utilizadas para determinação da chuva efetiva: equações de infiltração, índices e relações funcionais. Especificamente, o HEC-1 possibilita o uso de 5 métodos: 1) taxa de perda inicial e uniforme; 2) taxa de perda exponencial; 3) Curva-Número, 4) Holtan; 5) Função de Infiltração Green e Ampt. Foi considerado mais adequado, diante dos dados disponíveis, o método curva número do Soil Conservation Service

O método Curva Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número, CN. Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia (1) tipo de solo hidrológico, (2) uso do solo e tratamento; (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente

A equação de escoamento do SCS é dada por

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

onde

Q = escoamento

P = precipitação

S = capacidade máxima de armazenamento do solo

I_a = perdas antes do início do escoamento

As perdas antes do início do escoamento (I_a) incluem água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação, e infiltração. I_a é altamente variado, mas a partir de dados de pequenas bacias I_a é aproximado pela seguinte relação empírica:

$$I_a = 0,20 S \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1) elimina-se I_a , resultando em:

$$Q = \frac{(P - 0,20.S)^2}{P + 0,80 S}$$

onde S está relacionado às condições de solo e cobertura através do parâmetro CN por

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{unidades métricas})$$

onde CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II). Para condições secas (AMC I) e úmidas (AMC III), CNs equivalentes podem ser calculados pelas seguintes fórmulas

**CONDIÇÕES SECAS**

$$CN(I) = \frac{4,2.CN(II)}{10 - 0,058 CN(II)}$$

CONDIÇÕES ÚMIDAS

$$CN(III) = \frac{2,3.CN(II)}{10 + 0,13.CN(II)}$$

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas⁶.

Como já mencionado, o CN foi tabelado para diferentes tipos de solos, os quais foram classificados pelo SCS em quatro grupos de solos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com sua taxa de infiltração. Estes quatro grupos são descritos a seguir:

- A - solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração solos arenosos profundos com pouco silte e argilla.
- B - solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundo que o do tipo a e com permeabilidade superior à média
- C - solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo
- D - solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial

Desde que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior.

⁶ PONCE, V.M, 1989. ENGINEERING HYDROLOGY. PRINCIPLES AND PRACTICES. PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 640 p

C:\WINWORD\RELATORII\T204195.DOC



Para a bacia do Riacho Catu foi adotado um CN = 65 (AMC II) com base nos mapas de solo (grupos hidrológicos) e relevo contidos no PERH (1990)⁷

4.4.2.3 - Hidrograma Unitário - SCS

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 T_{LAG}. Este parâmetro, T_{LAG}, é igual à distância (lag) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário. A vazão de pico e o tempo de pico são calculados por:

$$Q_p = 208 \frac{A}{t_p} \quad t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{LAG}$$

onde Q_p = é a vazão de pico (m³/s), t_p = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km² e Dt = o intervalo de cálculo

Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-1 utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseado na relação Dt = 0,20 t_p, não devendo exceder 0,25.t_p. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$t_{lag} = 0,60.T_c \quad e \quad 1,7.t_p = Dt + T_c$$

⁷ PERH, 1990. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ, SRH - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS.

C:\WINWORD\RELATORIA\T204195.DOC

000054



onde T_c = é o tempo de concentração da bacia. O HEC-1 sugere que $Dt \leq 0,29.T_{LAG}$. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessário uma estimativa do tempo de concentração da bacia. Estes tempos de concentração foram avaliados através da aplicação da fórmula de Kirpich (item 4 4 2 1).

4 4 2.4 - Propagação da Cheia no Reservatório

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 de continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento.

A equação discretizada da continuidade é dada por

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+1}}{2} \quad (3)$$

onde I_t e I_{t+1} = vazões afluentes ao reservatório em t e $t+1$; Q_t e Q_{t+1} = vazões de saída ao reservatório em t e $t+1$; S_t e S_{t+1} = armazenamento em t e $t+1$, Dt = intervalo de tempo. As incógnitas Q_{t+1} e S_{t+1} podem ser colocadas em um mesmo lado, resultando em

$$Q_{t+1} + 2 \frac{S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \frac{S_t}{\Delta t} \quad (4)$$

Conhecendo-se a função $Q=f(S)$, constroi-se uma função $Q=h(Q+2S/Dt)$, resultando no seguinte processo de cálculo:

- 1 determinação do volume inicial S_0 (conforme objetivo do estudo), e a partir deste, determina-se Q_0 ,



2. calcular o termo direito da equação 4, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS,
- 3 com este valor $(Q_{t+1} + 2.S_{t+1}/ Dt)$ é possível obter Q_{t+1} através de $Q=h (Q+2S/Dt)$ e S_{t+1} através de $S_{t+1} = f-1 (Q_{t+1})$,
- 4 repete-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo.

Para determinar a curva que relaciona vazão e armazenamento faz-se uso de duas funções

$$Z = a.S^b \quad e \quad Q = C.L (Z - Z_w)^{3/2}$$

onde $Z =$ cota (m); $S =$ armazenamento (m³); $Q =$ vazão (m³/s); $C =$ coeficiente de descarga, $L =$ largura do sangradouro (m), $Z_w =$ cota da soleira do sangradouro e a, b são coeficientes obtidos por regressão.

4.4.3 - Resultados

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável ou mesmo cheia associada ao hietograma de período de retorno de 10000 anos não se justifica para os reservatórios em estudo, por suas localizações, capacidades e finalidades. Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar a cheia associadas ao hietogramas de 1000 anos

Como já mencionado anteriormente, o estudo das cheias para o Lago do Catu foi realizado considerando duas alternativas: com e sem a construção da Barragem Cinzenta Sem considerar a construção da Barragem Cinzenta, foram realizadas simulações para avaliar o amortecimento da cheia considerando três larguras para o sangradouro da Lagoa do Catu 40, 50 e 60 m Devido a motivos econômicos e geológicos,

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC



escolheu-se a largura de 40 m para o sangradouro do Lago do Catu, resultando para a chuva de projeto determinada anteriormente o amortecimento apresentado na figura 4.4.1. Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no quadro 4.4.2

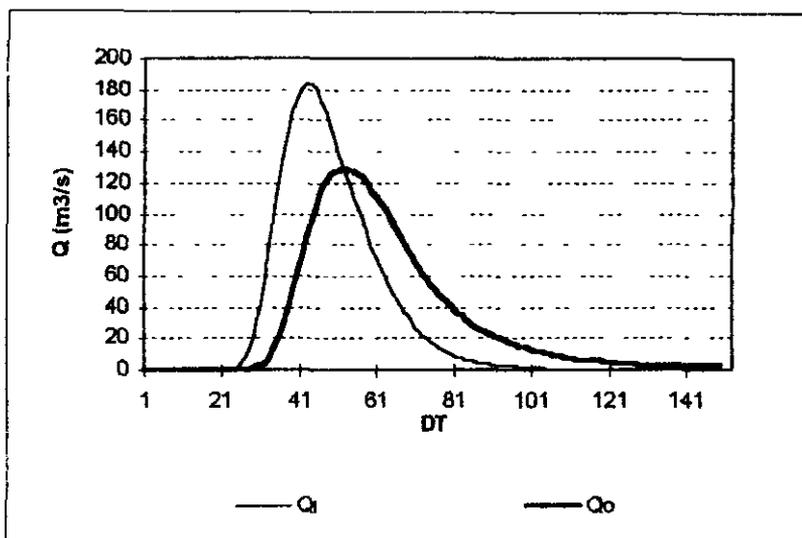


Figura 4.4 1 - Hidrogramas de Entrada e de Saída da Lagoa do Catu. Largura do Vertedouro. 40 m.

Quadro 4.4.2 - Resultado da simulação acima descrita para as opções de L=40, 50 e 60 m

L (m)	Q _{in} (m ³ /s)	T _{in} (h)	Q _{out} (m ³ /s)	T _{out} (h)	S (1000 m ³)	Cota (m)	Lâmina (m)
40	183,30	21,00	129,09	25,50	7198	7,17	1,33
50	183,30	21,00	139,96	25,00	6860	7,05	1,21
60	183,30	21,00	147,89	24,50	6611	6,96	1,12

L = Largura do vertedouro S = Armazenamento
 Q_{in} = Vazão afluente ao reservatório T_{in} = Tempo de pico do hidrograma de entrada
 Q_{out} = Vazão de saída (vertedouro) T_{out} = Tempo de pico do hidrograma de saída
 Z_w = 5,844 m (cota da soleira do vertedouro)

Considerando a construção da Barragem Cinzenta com um sangradouro de largura também igual a 40 m, foram determinados os seguintes hidrogramas:

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC



- hidrograma afluente/defluente da Barragem Catu (figura 4.4.2),
- hidrograma afluente/defluente da Barragem Cinzenta (figura 4.4.3)

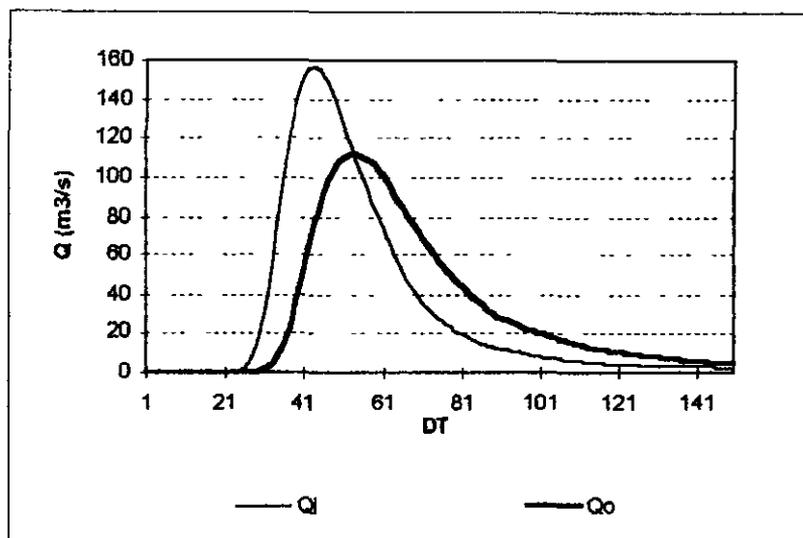


Figura 4.4.2 - Hidrogramas de Entrada e de Saída da Lagoa do Catu. Com a construção da Barragem Cinzenta

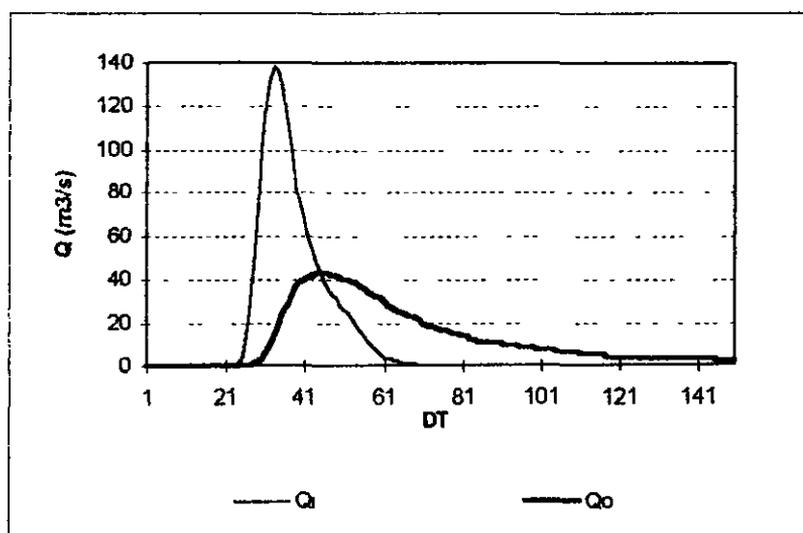


Figura 4.4.3 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Cinzenta
Largura do Vertedouro: 40 m.



A análise de níveis na seção Ponte CE-040, esquematicamente apresentados na figura 4.4 4, mostra que os picos dos hidrogramas defluentes não chegam a atingir 7,20 m. O quadro 4.4.3 mostra um resumo das simulações feitas para Catu, Cinzenta e Sistema Catu-Cinzenta. Neste quadro verifica-se que a construção da Barragem Cinzenta reduz a lâmina sobre o sangradouro do Lago do Catu em apenas 12 cm.

Quadro 4 4 3 - Resultado da Simulação para Catu, Catu-Cinzenta* e Cinzenta

BARRAGEM	Q _{in} (m ³ /s)	T _{in} (h)	Q _{out} (m ³ /s)	T _{out} (h)	Cota (m)	Lâmina (m)
Catu	183,30	21,00	129,09	25,50	7,17	1,33
Catu-Cinzenta*	156,42	21,00	111,79	26,50	7,05	1,21
Cinzenta	138,01	16,00	42,83	22,00	30,70	0,70

*Dados em Catu considerando a construção da Barragem Cinzenta.

Z_w (Catu) = 5,844 m (cota da soleira do vertedouro)

Z_w (Cinzenta) = 30,000 m (cota da soleira do vertedouro)

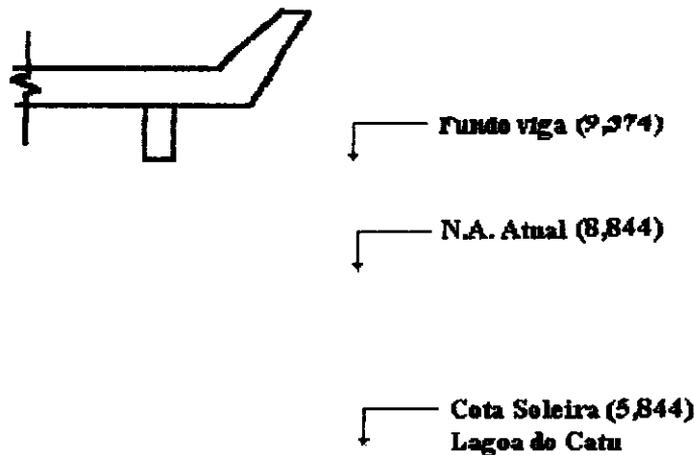


Figura 4 4 4 - Esquema de Níveis na Seção do Rio Catu na Ponte da CE-040



No Anexo E - Estudos Hidrológicos, encontram-se os resultados gerados pelo programa HEC-1 para a cheia de projeto considerando os dois cenários. Catu e Catu-Cinzenta.

4.5 - CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

4.5.1 - Introdução

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 ser a obra de maneira que ganhos em regularização de águas justifique os investimentos a serem realizados

Hidrologicamente, os objetivos centrais deste capítulo são.

- 1 análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Cinzenta;
2. estimativa das perdas por evaporação e sangria do Lago do Catu e Cinzenta
- 3 análise da redistribuição das vazões regularizadas na bacias do Rio Catu contempladas com os reservatórios Lago do Catu e Cinzenta. Dois pontos importantes serão abordados:
 - a capacidade atual de regularização da Bacia do Rio Catu - apenas Lago do Catu,
 - a capacidade futura de regularização e a redistribuição dessas vazões ao longo da bacia com a construção da Barragem Cinzenta



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

4.5.2 - Metodologia

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado dois métodos, a saber.

- solução direta da equação de balanço hídrico⁸;
- Diagrama Triangular de Regularização⁸

4.5 2 1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

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;

⁸ CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR LFC.

C:\WINWORD\RELATORII\T204195.DOC



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

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

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 $\text{MIN}(0,5 \cdot K; 0,5 \cdot m)$;
3. Calcula-se

$$Z_U = Z_t + I_t \quad \text{p/ } Z_t + I_t \leq K$$

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

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

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

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

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

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

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

$$h_3 = 0 \quad \text{caso contrário}$$

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

4 5.2 2 - O Diagrama Triangular de Regularização

O método do Diagrama Triangular baseia-se no balanço de massas de um reservatório para um período longo.

$$\Sigma I = \Sigma M + \Sigma S + \Sigma E + Z$$

onde ΣI , ΣM , ΣS , ΣE representam as somas dos volumes afluente, retirado, sangrado e evaporado, enquanto Z representa a diferença entre os volumes final e inicial do reservatório. Dividindo-se a equação de balanço de massas acima por N, N suficientemente grande, obtém-se:

$$m = E \{M\} + E \{S\} + E \{E\}$$

onde E { } representa é o operador valor esperado e m o deflúvio afluente médio. Pela última equação verifica-se que o volume afluente divide-se em três componentes, o que sugere o uso do Diagrama Triangular para

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC



estabelecer como esta divisão se processa em função dos parâmetros estatísticos dos deflúvios e das características do reservatório (CAMPOS, 1990)

4.5.3 - Estudo de Interferência

Seja o sistema composto por dois reservatórios em série, no caso Reservatório Cinzenta e Lago do Catu. Considere-se que o Lago do Catu (R1) representa o único reservatório existente na bacia hidrográfica em análise, e que planeja-se construir um novo reservatório a montante (R2), Reservatório Cinzenta. Para os objetivos do presente trabalho é importante que se faça uma análise da situação em dois cenários: cenário 1, somente com o reservatório R1 e cenário 2 após a construção de R2.

Cenário 1

Na situação inicial a capacidade de regularização do sistema pode ser representada pela equação: $Q_{1,S} = Q_{1,R1}$, onde $Q_{1,S}$ representa a vazão total regularizada pelo sistema no cenário 1 e $Q_{1,R1}$ representa a vazão regularizada pelo reservatório R1.

Cenário 2

Após a construção do reservatório R2, a capacidade total de regularização do sistema passa a: $Q_{2,S} = Q_{2,R1} + Q_{2,R2}$, sendo $Q_{2,S}$ a vazão regularizada pelo sistema no cenário 2, $Q_{2,R1}$ a vazão regularizada por R1 no cenário 2 e $Q_{2,R2}$ a vazão regularizada por R2 respectivamente.



As transformações ocorridas

A introdução do reservatório a montante de R1 provoca os seguintes efeitos na capacidade de regularização da bacia hidrográfica:

- a vazão regularizada pelo reservatório de jusante decresce de $Q_{1,R1}$ para $Q_{2,R1}$ ($Q_{1,R1} \leq Q_{2,R1}$);
- há ganhos em vazões regularizadas no local do novo reservatório R2 ($Q_{2,R2}$), não se podendo afirmar a priori se esse ganho total supera o decréscimo em capacidade de regularização do reservatório R1

Em outras palavras, a introdução dos reservatórios de montante implicam em uma redistribuição nas vazões regularizadas na bacia hidrográfica podendo haver perdas ou ganhos na capacidade de regularização do sistema.

4.5.4 - Resultados

As características do escoamento estabelecidas no item 4.3 - Estudo de Deflúvios, foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber.

- lâmina média escoada: 149,6 mm
- volume afluente médio escoado (m). 24 968 240,0 m³

O coeficiente de variação de $CV = 0,7$ foi adotado com base no valor indicado por CAMPOS et al. (1995)⁹, ou seja: $CV = 0,73$

⁹ CAMPOS, J.N.B., VIEIRA, J.F e MARTINS, E.S.P R 1995. POLÍTICA DE RECURSOS HÍDRICOS EM ÁREAS VULNERÁVEIS. In. PROJETO ÁRIDAS - CEARÁ COORDENAÇÃO GERAL SECRETARIA DE PLANEJAMENTO.

C:\WINWORD\RELATORII\T204195.DOC



Para aplicação dos dois métodos faz-se necessário a determinação do fator de forma a , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. No caso do fator adimensional de capacidade, este é variável uma vez que pretende-se analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

$a = 29672,2$ para Lago do Catu e $a = 7143,7$ para bar. Cinzenta
(Anexo E - Estudos Hidrológicos)

$$E = 0,80 \quad (188 + 218 + 219 + 237 + 215 + 213)$$

$$E = 1032 \text{ mm}$$

$$f_E = \frac{3 \cdot a^{1/3} \cdot E}{\mu^{1/3}}$$

$$f_E = 0,20$$

Com base nestes valores utilizou-se a solução direta da equação do balanço hídrico para o estudo incremental de capacidades do Reservatório Cinzenta. No quadro 4.5.3 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K . No quadro 4.5.1 é apresentada a regulação para o reservatório Cinzenta.

Quadro 4.5.1 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Cinzenta

$f_K =$ K/m	K hm ³	%REG	REG hm ³ /ano	%EVAP	EVAP hm ³ /ano	%SAN G	SANG hm ³ /ano	dM/dK
0,36	3,6	20,9	2,041	8,6	0,843	70,5	6,894	-----
1,04	10,3	39,1	3,820	19,0	1,855	41,9	4,047	0,266
2,01	20,0	52,9	5,165	28,2	2,752	19,0	1,856	0,139
2,72	27,0	55,9	5,466	33,0	3,220	11,1	1,087	0,043
5,58	55,4	56,6	5,532	42,8	4,188	0,6	0,061	0,002



Os dados contidos no quadro 4 5 1 mostram que a medida que aumenta-se o volume do reservatório a montante (Cinzenta) tem-se uma redução no volume sangrado em favor de um aumento dos volumes regularizados e evaporados deste reservatório. Com isto tem-se que haverá uma redução do volume sangrado pela Lagoa do Catu. Este fato ficará mais claro quando for abordada a interferência do reservatório Cinzenta sobre o Lago do Catu

A análise da figura 4 5 1 e quadro 4.5 1 sugere que um volume adequado para o reservatório Cinzenta é inferior a 20 hm³. Por razões econômicas e geológicas, foi adotado o volume de 10,3 hm³ correspondente a cota de 30 m. Para esta capacidade o reservatório regulariza 39,1% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 388 hm³/ano, conforme a resolução direta da equação do balanço hídrico. Este volume regularizado anualmente corresponde a uma vazão regularizada com 90% de garantia de 0,1232 m³/s.

Utilizando-se o método do Diagrama Triangular de Regularização com $f_E = 0,28$, $f_K = 1,04$ e $CV = 0,70$, obtém-se um volume de 4,073 hm³ regularizado anualmente, ou em termos de vazão, $Q_{90} = 0,12914$ m³/s. Este valor está bem próximo ao valor obtido pela solução direta da equação do balanço hídrico (quadro 4.5 2). A figura 4.5.2 apresenta o Diagrama Triangular ($CV = 0,70$) e nele o caso da Barragem Cinzenta

No caso do Lago do Catu, existia uma preocupação com os níveis na seção do Rio Catu sob a Ponte da CE-040, o que, entre outras razões, também contribuiu para a adoção da cota 5,844 m, não sendo portanto necessária a análise incremental de ganho na capacidade de regularização com o aumento da capacidade do reservatório. Através do método do Diagrama Triangular de Regularização com $f_E = 0,33$, $f_K = 0,17$ e $CV = 0,70$, obtém-se um volume de 2,746 hm³ regularizado anualmente,

C:\WINWORD\RELATORIO\T204195.DOC



ou em termos de vazão, $Q_{90} = 0,08709 \text{ m}^3/\text{s}$. O quadro 4.5 2 apresenta estes resultados para a Lagoa do Catu e Barragem Cinzenta, tanto para o método da equação do balanço hídrico como para o método do Diagrama Triangular de Regularização. Os valores obtidos para estes dois métodos apresentaram-se bem próximos. A figura 4.5.3 apresenta o Diagrama Triangular ($CV = 0,70$) e nele o caso do Lago do Catu

Quadro 4 5 2 - Distribuição do volume afluente e Q_r (90%) para as barragens CINZENTA e CATU

CINZENTA			
Equação do Balanço Hídrico			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m ³ /s)
3,820 - 39,1%	4,047 - 41,9%	1,855 - 19%	0,12113
Diagrama Triangular de Regularização			
4,073 - 41%	3,973 - 40%	1,887 - 19%	0,12914
CATU			
Equação do Balanço Hídrico			
RG - %	SG - %	EV - %	Qr 90% (m ³ /s)
2,603 - 10,6%	20,655 - 84%	1,339 - 5,4%	0,08254
Diagrama Triangular de Regularização			
2,747 - 11%	20,72 - 83%	1,498 - 6%	0,08709

EV - Volume Evaporado (hm³/ano)

SG - Volume Sangrado (hm³/ano)

RG - Volume Regularizado (hm³/ano)

Qr 90% - Vazão regularizada com 90% de garantia (m³/s)

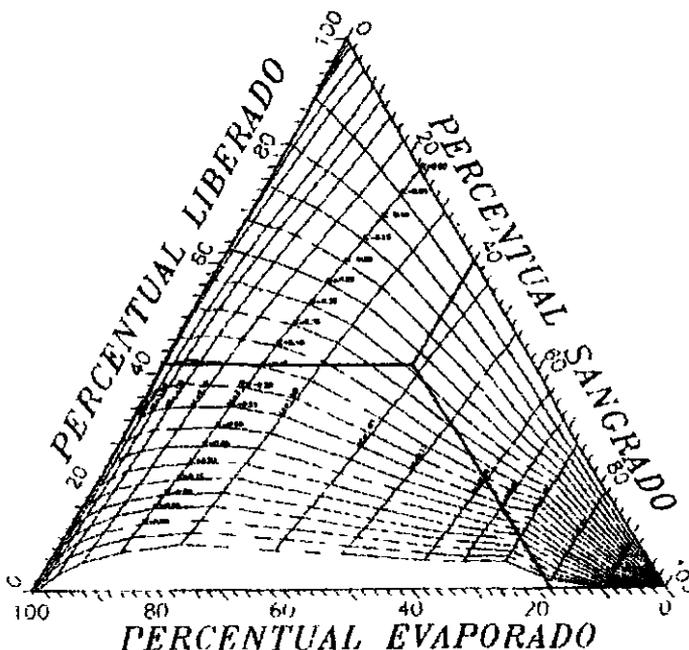


Figura 4 5 2 - Diagrama Triangular de Regularização para CV = 0,70.
Barragem Cinzenta.

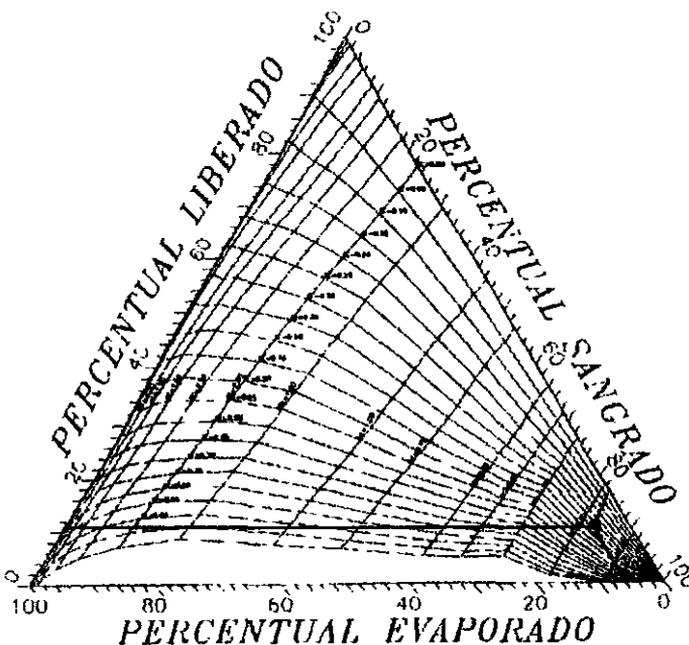


Figura 4 5.3 - Diagrama Triangular de Regularização para CV = 0,70.
Lagoa do Catu

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



Até agora as considerações realizadas não levaram em conta o sistema como um todo, ou seja, não abordam a questão da interferência do reservatório Cinzenta sobre a Lagoa do Catu. Neste sentido, a análise desta "interferência hidrológica" é feita através da solução direta da equação do balanço hídrico, comparando-se a distribuição dos volumes Regularizados (RG), Evaporados (EV) e Sangrados (SG) e o total regularizado para cada cenário - quadro 4 5 3

Cenário 1 - Lago do Catu: Na situação atual as águas de escoamento superficial da bacia do Lago do Catu (Série Gerada - 24,597 hm³/ano) têm a seguinte destinação

Evaporação (EV)	1,339 hm ³ /ano
Sangria (SG)	20,655 hm ³ /ano
Regularização (RG)	2,603 hm ³ /ano
Total (EV+SG+RG)	24,597 hm ³ /ano

Observe-se que aproximadamente 84% do escoamento da bacia é perdido sobre forma de vertimento pelo sangradouro do Lago do Catu, significando grande potencialidade de armazenamento na bacia. As águas escoadas seguem, após vertimento, para o mar.

Cenário 2 - Lagoa do Catu - Barragem Cinzenta: Com a construção do Reservatório Cinzenta, as águas do escoamento superficial passam a ter as seguintes destinações:

Evaporação (EV)	3,223 hm ³ /ano
Sangria (SG)	15,181 hm ³ /ano
Regularização (RG)	6,175 hm ³ /ano
Total (EV+SG+RG)	24,579 hm ³ /ano

Nesse novo cenário, a Cinzenta passou a regularizar 3,820 hm³/ano e o Lago do Catu teve sua capacidade de regularização reduzida em 0,248 hm³/ano. No sistema houve um ganho em regularização de



3,572 hm³/ano, uma redução na sangria de 5,474 hm³/ano e um acréscimo na evaporação de 1,884 hm³/ano. Mesmo com essa construção, o sistema continua perdendo por sangria cerca de 62% do volume escoado na bacia. Significa que há um potencial ainda a acumular. Deve-se contudo observar, que o sistema introduziu um substancial acréscimo na evaporação a partir do lago dos açudes, embora também tenha sido considerável o acréscimo na regularização. Ao lado deste acréscimo na capacidade de regularização do sistema, tem-se "uma melhor distribuição das águas regularizadas" na bacia (sistema Catu-Cinzenta).

Quadro 4.53 - Repartição dos volumes escoados nos cenários 1 e 2 para o sistema Catu

VOLUMES (hm ³)	Cenário 1	Cenário 2		Sistema
	Lagoa do Catu K = 4,2 hm ³	Cinzenta K = 10,3 hm ³	Lago do Catu K = 4,2 hm ³	
EV	1,339	1,855	1,368	3,223
SG	20,655	4,047	15,181	15,181
RG	2,603	3,820	2,355	6,175
TT	24,597	9,722	18,904	24,579

EV - Volume Evaporado (hm³/ano)
 SG - Volume Sangrado (hm³/ano)
 RG - Volume Regularizado (hm³/ano)

4.6 - ESTUDOS ADICIONAIS

4.6.1 - Introdução

Este capítulo apresenta estudos adicionais visando fornecer características do reservatório durante a fase de operação, sendo estudado

- a probabilidade de enchimento do reservatório na fase transiente;
- a probabilidade de esvaziamento do reservatório na fase de equilíbrio;



- a probabilidade de extravazamento do reservatório na fase de equilíbrio,
- a curva de esvaziamento do reservatório

4.6.2 - Estudo da Disponibilidade Hídrica

O estudo da disponibilidade hídrica do reservatório Catu compreende o estudo das probabilidades de enchimento, esvaziamento e extravazamento do reservatório. Este estudo pode ser realizado diante 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 Moran¹⁰, 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 4.6.1 e no quadro 4.6.1

¹⁰ MORAN, P.A.P. 1959 THE THEORY OF STORAGE LONDON: METHUEN & CO LTD, 111 p.

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC

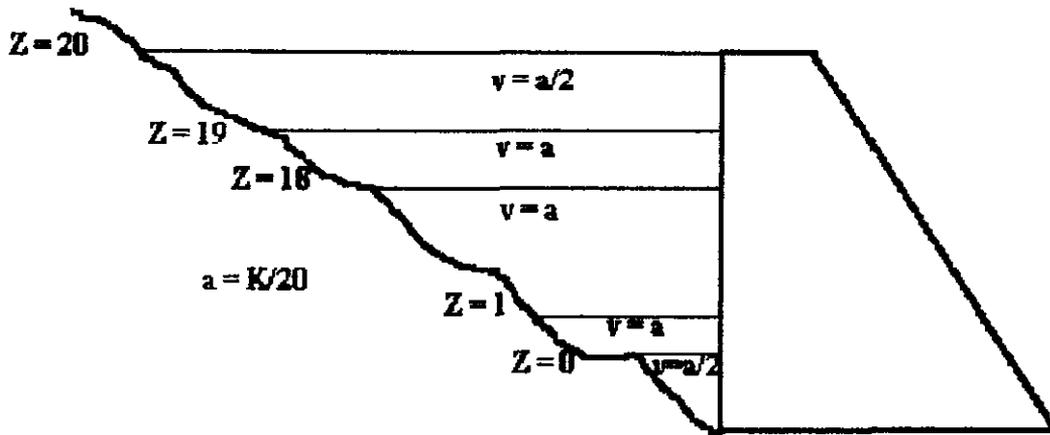


Figura 4.6 1 - Espaço de definição dos estados de reserva
 Quadro 4.6.1 - Limite, em volume, dos estados de reserva

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	$(n-1/2) a < z \leq K$	$z = \text{cheio}$

- 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:

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



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.

$$q_{00}.\pi_0 + q_{01}.\pi_1 + \dots + q_{0N}.\pi_N = \pi_0$$

$$q_{10}.\pi_0 + q_{11}.\pi_1 + \dots + q_{1N}.\pi_N = \pi_1$$

.

.

$$q_{N0}.\pi_0 + q_{N1}.\pi_1 + \dots + q_{NN}.\pi_N = \pi_N$$

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 esvaziamento de cada reservatório (inicialmente seco)

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



na fase transiente considerando as retiradas de 0, $Q_{r90} / 2$ e Q_{r90} (quadro 4 6.2). Como pode-se observar pela figura 4 6 2, a retirada de Q_{r90} tem uma garantia de um pouco mais de 90%, valor compatível com os resultados anteriores (volume anual regularizado com 90% de garantia). Na figura 4 6 2 apresenta-se as curvas de garantia para as retiradas de 0, $Q_{r90} / 2$ e Q_{r90} , ou seja, a plotagem de $1 - P[Z = \text{seco}]$.

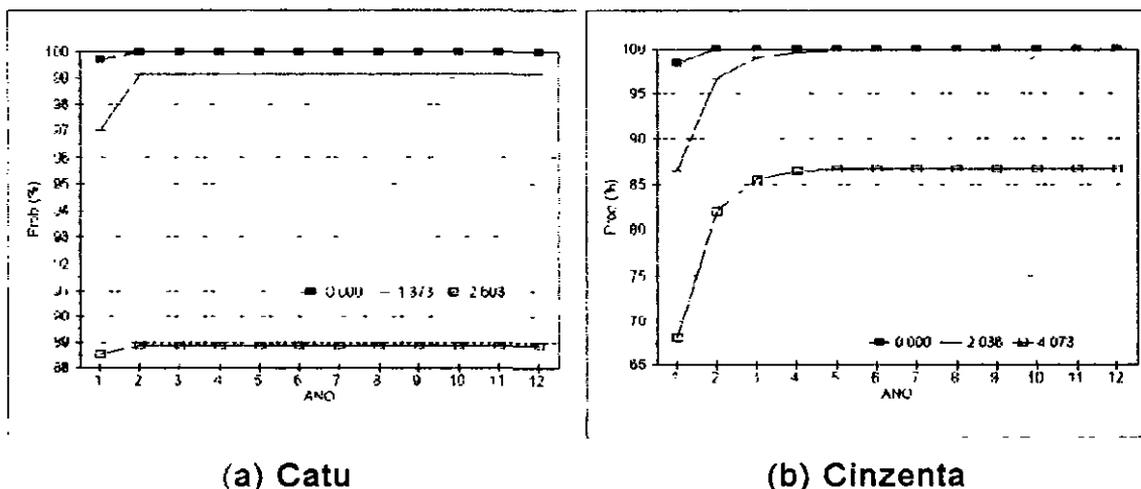


Figura 4.6.2 - Análise Probabilística da Garantia dos Reservatórios - fase transiente Garantia = $1 - P[Z = \text{seco}]$.

Quadro 4 6.2 - Análise Probabilística do Esvaziamento dos Reservatórios na Fase Transiente. Reservatório inicialmente seco

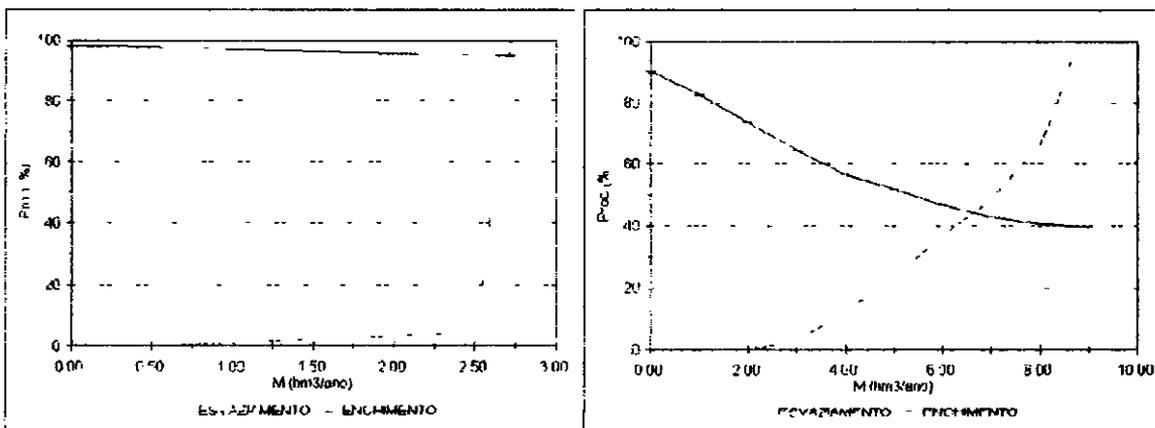
ANO	PROBABILIDADE DE ESVAZIAMENTO %					
	M = 0,000		M = $Q_{r90} / 2$		M = Q_{r90}	
Reservatório	Catu	Cinzenta	Catu	Cinzenta	Catu	Cinzenta
1	0,23	1,66	2,98	13,47	11,48	31,87
2	0,00*	0,05	0,86	3,30	11,13	17,88
3	0,00	0,00*	0,84*	1,05	10,13*	14,39
4	0,00	0,00	0,84	0,42	10,13	13,51
5	0,00	0,00	0,84	0,23	10,13	13,29
6	0,00	0,00	0,84	0,17*	10,13	13,24
7	0,00	0,00	0,84	0,15*	10,13	13,22*
8	0,00	0,00	0,84	0,15	10,13	13,22
9	0,00	0,00	0,84	0,15	10,13	13,22
10	0,00	0,00	0,84	0,15	10,13	13,22

M = Retirada anual (hm^3)

* 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 55% dos anos ocorrem sangria para uma retirada anual de 4,097 hm³ no caso do Res Cinzenta. A figura 4.6.3 apresenta as duas curvas probabilísticas (esvaziamento e enchimento), enquanto que os quadro 4.6.3 e 4.6.4 os seus valores correspondentes para os dois reservatórios.



(a) Catu

(b) Cinzenta

Figura 4.6.3 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio



Quadro 4.6.3 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

Reservatório Catu

RETIRADA hm ³ /ano	PROBABILIDADE %	
	ESVAZIAMENTO	ENCHIMENTO
0,100	0,0	98,3
0,500	0,0	97,8
0,700	0,1	97,5
1,000	0,5	97,2
2,500	4,6	95,4
2,530	13,1	95,4
2,550	22,3	95,3
2,570	31,4	95,3
2,590	40,6	95,3
2,600	45,1	95,2
2,630	58,8	95,2
2,650	67,9	95,1
2,690	86,1	95,1
2,710	95,2	95,0
2,730	100,0	95,3



Quadro 4 6 4 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

Reservatório Cinzenta

RETIRADA hm ³ /ano	PROBABILIDADE %	
	ESVAZIAMENTO	ENCHIMENTO
0,0	0,0	90,4
1,0	0,0	82,6
2,0	0,1	73,7
3,0	2,8	64,6
4,0	12,3	56,5
5,0	24,7	51,5
6,0	36,7	46,8
7,0	48,4	43,0
8,0	66,7	40,6
8,1	70,1	40,6
8,2	73,4	40,5
8,3	77,7	40,3
8,4	82,7	40,2
8,5	87,6	40,1
8,6	92,5	39,9
8,7	97,3	39,8
8,8	100,0	39,7
8,9	100,0	39,7
9,0	100,0	39,7



5.0 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



5.0 - ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

5.1 - ESTUDOS GEOLÓGICOS

A região em estudo, encontra-se sob o domínio dos sedimentos do Grupo Barreiras Indiviso, Dunas e Aluviões.

O Grupo Barreiras Indiviso é constituído de clásticos finos e grosseiros, que ocorrem na costa, sotopostos às dunas. A área individualiza-se como uma região de tabuleiros planos, localmente ondulados com depressões suaves, sendo truncada pelos vales dos cursos d'água. Ocorrem arenitos argilosos de coloração variegada, de tons avermelhados, amarelados, até esverdeados. A granulação varia de fina à média, podendo ser encontrados horizontes mais argilosos, concentrações de óxido de ferro ou crostas de laterização.

As dunas são constituídas por sedimentos inconsolidados, estando intimamente condicionados ao desenvolvimento da morfologia litorânea. Formam um cordão bem estreito com cerca de 2 a 3 km de largura, seccionado em alguns pontos pelos vales dos rios. O seu desenvolvimento está subordinado ao volume de sedimentos oriundos do continente e a posição da linha de costa em relação à direção dos ventos dominantes. Litologicamente são caracterizados, de grã-fina à média, quartzosas, com grãos de quartzo foscos e arredondados.

As aluviões compreendem as faixas alargadas, estritas e sinuosas depositadas nas calhas dos rios, que iniciando-se mais no interior, alargam-se paulatinamente no sentido da zona litorânea onde são abruptamente seccionados pela linha da costa. Predominam na área, areias impuras, com

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



níveis de argila e silte escuro, que sob influência marinha, podem se misturar à matéria orgânica em decomposição, formando manguezais, alagados na préamar

5.2 - ESTUDOS GEOTÉCNICOS

Os estudos geotécnicos consistiram basicamente no seguinte:

- caracterização do subsolo nos locais do vertedouro tipo "CREAG" e da bacia de dissipação do lago Catu;
- caracterização do subsolo nos locais de dois boqueirões e de dois sítios de vertedouros como alternativas possíveis para a construção da Barragem Cinzenta;
- localização e detalhamento dos empréstimos de materiais que serão utilizados na construção da barragem, bem como na realização de ensaios geotécnicos de laboratório.

Os estudos executados são apresentados a seguir, de acordo com os aspectos abordados, divididos nos seguintes itens:

- Sondagens no Lago Catu,
- Sondagens nos Boqueirões e Vertedouros Alternativos da Barragem Cinzenta,
- Estudos dos Materiais

5.2.1 - Sondagens no Lago Catu

Visando definir o subsolo nos locais do vertedouro tipo "CREAG" e da bacia de dissipação do Lago Catu, foram executadas quatro sondagens a percussão, nas posições indicadas em planta no Desenho N° 01 no Anexo A - Estudos Topográficos.

C:\WINWORD\RELATORI\T204195.DOC



Os resultados das sondagens são apresentados nos Desenhos N^os 01 a 04 no Anexo B - Estudos Geotécnicos, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo. As cotas das bocas dos furos foram obtidas do levantamento topográfico realizado no local.

Na execução das sondagens a percussão foram usados dois processos para avanço do furo. Inicialmente foi usado o trado concha de 4", ao encontrar-se o nível d'água ou material impenetrável a esta ferramenta o furo foi revestido e prosseguido por lavagem até atingir-se por sua vez, material impenetrável a este outro processo.

Para extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 1 3/8" de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65 kg, com altura de queda de 75 cm.

Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar cada 15 cm no terreno, até uma penetração total de 45 cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15 cm, ou seja dos 30 cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de "Standard Penetration Test (SPT)".

Com base nos resultados das sondagens foram preparadas seções esquemáticas do subsolo apresentadas no Desenho N^o 05 do Anexo B - Estudos Geotécnicos, que representam evidentemente apenas uma indicação do desenvolvimento provável das camadas do subsolo, constatadas somente nas verticais das sondagens e foram elaboradas visando permitir uma melhor visualização da natureza geral do subsolo no local do vertedouro.



As amostras coletadas nas sondagens a percussão ficarão à disposição de V.Sas , em nosso laboratório, durante 30 (trinta) dias após a entrega do último relatório deste contrato

5.2.2 - Sondagens nos Boqueirões e Vertedouros Alternativos da Barragem Cinzenta

Visando definir o subsolo nos locais dos dois boqueirões e dos dois sítios de vertedouro, como alternativas possíveis para a construção da Barragem Cinzenta, foram executados dez sondagens a pá e picareta e seis sondagens a percussão, nas posições indicadas em planta no Desenhos N^os 05 e 06 no Anexo A - Estudos Topográficos.

Os resultados das sondagens são apresentados nos Desenhos N^os 06 a 11 e 13 a 18 no Anexo B - Estudos Geotécnicos, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo. As cotas das bocas dos furos foram obtidas do levantamento topográfico realizado no local

Na execução das sondagens a percussão foram usados dois processos para avanço do furo. Inicialmente foi usado o trado concha de 4", ao encontrar-se o nível d'água ou material impenetrável a esta ferramenta o furo foi revestido e prosseguido por lavagem até atingir-se por sua vez, material impenetrável a este outro processo.

Para extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2" e 1 3/8" de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual era cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65 kg, com altura de queda de 75 cm

Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer o amostrador penetrar cada 15

C:\WINWORD\RELATORIO\T204195.DOC



cm no terreno, até uma penetração total de 45 cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15 cm, ou seja dos 30 cm finais de cravação, é apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens. Este número de golpes é denominado de "Standard Penetration Test (SPT)".

Com base nos resultados das sondagens foram preparadas seções esquemáticas do subsolo apresentadas nos Desenhos N^os 12 e 19 no Anexo B - Estudos Geotécnicos, que representam evidentemente apenas uma indicação do desenvolvimento provável das camadas do subsolo, constatadas somente nas verticais das sondagens e foram elaboradas visando permitir uma melhor visualização da natureza geral do subsolo no local da barragem e vertedouro.

As amostras coletadas nas sondagens a percussão ficarão à disposição de V. Sas, em nosso laboratório, durante 30 (trinta) dias após a entrega do último relatório deste contrato.

Das sondagens a pá e picareta executadas nos eixos 1 e 2, foram coletadas amostras para serem submetidas aos seguintes ensaios geotécnicos de laboratório

- Granulometria por Sedimentação (DNER-ME 51-64);
- Limite de Liquidez (DNER-ME 44-71),
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 82-63),
- Compactação - Proctor Normal (DNER-ME 48-64).

Os resultados desses ensaios são apresentados no Anexo B - Estudos Geotécnicos.



5.2.3 - Estudos dos Materiais

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da Barragem Cinzenta foram iniciados por um simples reconhecimento de toda a área em volta do eixo do barramento, de modo que fossem selecionadas as ocorrências potencialmente aproveitáveis, levando-se em conta a qualidade do material e os volumes disponíveis.

Foram identificadas e estudadas duas jazidas de solo, através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de picadas abertas a foice cobrindo toda a área, cujas localizações são mostradas no Desenho N° 09, do Anexo B - Estudos Topográficos.

Os valores da espessura média dos materiais utilizáveis, bem como dados de área, volume e distância média, estão resumidos no quadro a seguir

CARACTERÍSTICA	JAZIDA	
	J-01	J-02
Expurgo médio (m)	0,20	0,33
Espessura útil média (m)	3,00	2,88
Área (m ²)	100.000	72.000
Volume utilizável (m ³)	300.000	207.360
Distância média (m)	100	2.350



Das sondagens executadas nas jazidas, foram coletadas amostras para serem submetidas aos seguintes ensaios geotécnicos de laboratório.

- Granulometria por Sedimentação (DNER-ME 51-64),
- Limite de Liquidez (DNER-ME 44-71);
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 82-63);
- Compactação - Proctor Normal (DNER-ME 48-64)

Os resultados desses ensaios são apresentados no Anexo B - Estudos Geotécnicos

Do exame dos ensaios de caracterização realizados (granulometria por sedimentação e limites de Atteberg), permitiram enquadrar os materiais estudados nos seguintes grupos da "Classificação Unificada".

- Jazida J-01: material do tipo CL (argila de baixa compressibilidade),
- Jazida J-02: material do tipo SC (areia argilosa).

O enquadramento dos solos na "Classificação Unificada" possibilita estimar suas características no que concerne a sua utilização na construção de barragens de terra Segundo Sherard (Sherard, J. L. e outros - "Earth and Earth Rock Dams" - John Wiley and Sons, Inc. 1963) os solos do tipo CL e SC apresentam as seguintes características:

- CL.

- Impermeável:

C:\WINWORD\RELATORIO\T204195.DOC



- Alta resistência a erosão;
- Média resistência ao cisalhamento;
- Boa a regular trabalhabilidade;

• SC:

- Impermeável;
- Alta resistência a erosão,
- Alta a média resistência ao cisalhamento;
- Boa a razoável trabalhabilidade.

As propriedades acima citadas são esperáveis para obras em que seja feito o controle de umidade e densidade durante a construção. Para orientação deste controle são apresentados a seguir os valores médios da massa específica seca máxima ($\gamma_{sm\acute{a}x}$) e a umidade ótima ($h\acute{o}t$), obtidas nos ensaios de compactação das jazidas

VALORES DE COMPACTAÇÃO	JAZIDAS	
	J-01	J-02
$\gamma_{sm\acute{a}x}$ (g/cm ³)	1,745	1,877
$h\acute{o}t$ (%)	16,8	13,1

Além dos ensaios acima mencionados, foram realizados os ensaios de permeabilidade com carga variável e cisalhamento direto lento, os quais são comentados no itens 5.3 1 - Ensaio Especiais.

C:\WINWORD\RELATORIO\T204195.DOC



Foram identificados dois areais e duas pedreiras para a utilização na execução dos drenos, riprap e concretos, cujas localizações são mostradas no Desenho N° 09 no Anexo A - Estudos Topográficos. Os valores de espessuras médias, áreas, volumes e distâncias médias estão resumidos no quadro a seguir:

CARACTERÍSTICA	OCORRÊNCIAS			
	A-01	A-02 ⁽¹⁾	P-01 ⁽¹⁾	P-02 ⁽¹⁾
Espessura média (m)	1,50	(x)	(x)	(x)
Área (m ²)	3 000	(x)	(x)	(x)
Volume (m ³)	4 500	(x)	(x)	(x)
Distância média (m)	800	48 000	21.500	21.500

NOTA: (1): exploração comercial,
(x) dados não disponíveis.

Foram coletadas três amostras de cada areal, para a realização dos seguintes ensaios geotécnicos de laboratório.

- Granulometria por Sedimentação (DNER-ME 51-64);
- Limite de Liquidez (DNER-ME 44-71);
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 82/63);
- Equivalente de Areia (DNER-ME 54-63).

Os resultados destes ensaios são apresentados no Anexo B - Estudos Geotécnicos

C:\WINWORD\RELATOR\T204195.DOC



Foram coletadas uma única amostra de cada pedreira, para a realização do ensaio de desgaste por abrasão tipo "Los Angeles" (DNER-ME 35-64). O resultado deste ensaio é apresentado no Anexo B - Estudos Geotécnicos.

5.2 3 1 - Ensaio Especial

Foram realizados sobre as amostras de solo coletadas nas sondagens a pá e picareta das jazidas J-01 e J-02, os seguintes ensaios especiais geotécnicos de laboratório.

- Jazida J-01
 - Permeabilidade com Carga Variável furos 05 e 13;
 - Cisalhamento Direto Lento, furo 09,
- Jazida J-02.
 - Permeabilidade com Carga Variável furos 05 e 13;

Os resultados dos ensaios especiais são apresentados no Anexo B - Estudos Geotécnicos.

Os procedimentos para a execução dos ensaios especiais são descritos a seguir:

5 2 3 1 1 - Permeabilidade com Carga Variável

As moldagens dos corpos de prova foram realizadas no próprio cilindro onde foram executados os ensaios, na umidade ótima e massa específica seca máxima de laboratório, obtida no ensaio de compactação na energia do proctor normal.



O conjunto de permeabilidade foi drenado de forma que foram retiradas todas as bolhas de água. Os corpos de prova permaneceram no mínimo 24 horas sob a água, e com o fluxo de água constante é que se deu início ao ensaio

Foi medido o tempo para a água descer uma determinada altura. O nível da água foi resposto ao nível inicial e a operação repetida no mínimo mais uma vez. O coeficiente de permeabilidade foi calculado através da média dos coeficientes obtidos em cada uma das vezes.

5 2 3 1 2 - Cisalhamento Direto Lento

O corpo de prova foi colocado na caixa de cisalhamento (lado 5,08 cm e altura = 2,00 cm), e foi saturado sob uma tensão normal de 0,5 Kgf/cm².

Em seguida foi completada a carga variável de tal modo que se obteve a tensão normal de ruptura (1, 2 e 4 Kgf/cm²), esperando-se o tempo necessário para que ocorra o adensamento primário.

Posteriormente, foi iniciada a fase de ruptura com uma velocidade de 0,01 mm/min, sendo realizadas leituras das deformações vertical, horizontal e do dinamômetro a cada 15 minutos, até que a tensão cisalhante permanecesse constante (resistência residual)



6.0 - ESTUDOS BÁSICOS

C WINWORDIRELATORIIT204195 DOC

GEONORTE - Engenharia de Solos e Fundações Ltda

Rua Jorge Severiano, 900 - Vila União - Fone 272 4777 - Fax 272 7799 - CEP 60 420-180 - Fortaleza - Ceará

C G C 07 542 392/0001-60 - C G F 06 013 384-8

000092



6.0 - ESTUDOS BÁSICOS

A partir da análise detalhada de todos os dados levantados dos estudos topográficos, hidrológicos, geológicos-geotécnicos e o arranjo geral do sistema hídrico da bacia hidrográfica do Rio Catu, foram desenvolvidos dois projetos básicos, a saber

- Projeto Básico do Vertedouro no Lago Catu;
- Projeto Básico da Barragem Cinzenta.

6.1 - VERTEDOURO NO LAGO CATU

O projeto básico do vertedouro do Lago Catu foi desenvolvido a partir dos estudos hidrológicos da bacia do Rio Catu, bem como das condições de fundação no seu local de implantação

O vertedouro será um muro CREAG, com a soleira na cota 5,844 metros e com largura de 40,0 metros, além de um canal de aproximação a montante do CREAG e uma bacia de dissipação a jusante, na cota 4,00 metros.

O dimensionamento do vertedouro é apresentado no Volume 3 - Memória de Cálculo e a locação do CREAG, planta do vertedouro, seções transversais, perfil longitudinal e detalhes são apresentados no Anexo C - Projeto Básico do Vertedouro no Lago Catu.

6.2 - BARRAGEM CINZENTA

O projeto da Barragem Cinzenta foi desenvolvido a partir do conhecimento dos materiais disponíveis na região, bem como das condições de fundação no local da barragem e vertedouro

C:\WINWORD\RELATOR\INT204195.DOC



Visando otimizar a aplicação dos materiais existentes na região, levando-se em conta o volume, a qualidade e a distância das ocorrências, foi concebida a seção homogênea para o maciço da barragem, a ser executado com material oriundo da jazida J-01.

A seção tipo tem o coroamento na cota 33.000 metros, com 8,0 metros de largura e talude de 1,0·2,5 (V:H) a montante e 1,0·2,0 (V:H) a jusante, a partir do coroamento até atingir o terreno de fundação. A seção tipo contém um sistema de drenagem interna o qual é formado por um dreno filtrante de areia, vertical, um tapete drenante e um enrocamento de pé ("Rock-Fill") O dreno filtrante vertical e o tapete drenante será construído com areia dos areais A-01 e A-02 e o enrocamento, com o material das pedreiras P-01 e P-02

A fundação da barragem ("cut-off") foi definida e dimensionada a partir das sondagens executadas ao longo do boqueirão da barragem e deverá atingir as profundidade indicadas no projeto básico, ou ultrapassá-las, a critério da fiscalização, de forma que as trincheiras de fundação fiquem assentes sobre um maciço estável de solo residual de gnaiss Os taludes indicados para as trincheiras de fundação são de 1,0:1,0 (V H)

A proteção do talude de montante será feita através de um rip-rap dimensionado para absorver a energia das ondas. O rip-rap projetado é composto de uma camada de enrocamento com 0,60m de espessura, proveniente das pedreiras P-01 e P-02 e outra camada de transição com 0,60m de espesura A camada de transição é composta de duas camadas de brita, proveniente das pedreiras P-01 e P-02 e uma camada de areia de rio, proveniente dos areais A-01 e A-02.



A proteção do talude de jusante será feita através de um plantio de grama e um sistema de calhas para a coleta das águas superficiais.

O dimensionamento da geometria da barragem, da drenagem interna, da trincheira de fundação e do rip-rap são apresentados no Volume 3 - Memória de cálculo e a planta geral, o perfil longitudinal, as seções transversais e a seção máxima com detalhes são apresentados no Anexo D - Projeto Básico da Barragem Cinzenta

6.2.1 - Local da Barragem Cinzenta

Após a concepção da seção tipo da Barragem Cinzenta, esta foi lançada nos eixos alternativos 1 e 2, obtendo o seguinte volume total de cubação

EIXO	VOLUME (m ³)
1	165.145,00
2	157 462,00

Com isto, optou-se para a implantação da Barragem Cinzenta o eixo 1

6.2.2 - Análise da Estabilidade

A análise da estabilidade realizado no presente projeto indica fatores de segurança adequados para a condição de final de

C:\WINWORD\RELATOR\INT204195.DOC



construção Esta verificação de estabilidade baseou-se no método Bishop simplificado.

A análise da estabilidade é descrita no Volume 3 - Memória de Cálculos.

6.2.3 - Tomada d'Água

A tomada d'água será feita através de uma galeria tubular, com tubulação de 400mm de diâmetro, na ombreira esquerda, estaca 29, fazendo 90° com o eixo da barragem A cota do eixo da tubulação será a 21,20 metros e a cota de porão a 23,00 metros Esta diferença de cotas teve por objetivo assegurar a submergência mínima da boca de entrada da tubulação para evitar a formação de vórtices

O controle da tomada d'água será feito a jusante, através de dois registros em série dotados de volantes com redutor para evitar o rápido fechamento e a possibilidade de ocorrência do golpe de aríete.

A jusante, na saída da tubulação, foi projetada uma estrutura de dissipação do tipo bacia de impacto, de acordo com o modelo Padronizado, apresentado no livro DESIGN OF SMALL DAMS, do Bureau of Reclamation

O dimensionamento da tomada d'água é apresentado no Volume 3 - Memória de Cálculo e a seção da tomada d'água e seus detalhes são apresentados no Anexo D - Projeto Básico da Barragem Cinzenta



6.2.4 - Vertedouro

O vertedouro será um muro CREAG, com a soleira na cota 30,000 metros e com largura de 40,0 metros, além de um canal de aproximação a montante do CREAG e uma bacia de dissipação a jusante, na cota 28,000 metros. Sobre o vertedouro foi projetada uma ponte, dando continuidade a estrada que interliga o distrito de Guarda a BR-116.

O dimensionamento do vertedouro é apresentado no Volume 3 - Memória de Cálculo e a planta do vertedouro, seções transversais, perfil longitudinal e detalhes são apresentados no Anexo D - Projeto Básico da Barragem Cinzenta