

GOVERNO DO ESTADO



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH
SUPERINTENDÊNCIA DO OBRAS HIDRÁULICAS SOHIDRA

PROJETO DE APROVEITAMENTO
HIDROAGRÍCOLA DA BACIA DO
RIO CRUXATI
ITAPIPOCA - CE

VOLUME 3 PROJETO BÁSICO DA BARRAGEM

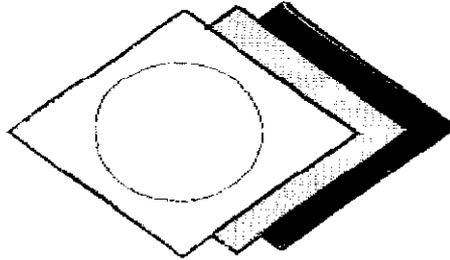
TOMO I RELATÓRIO GERAL

RM Planejamento e Consultoria Agropecuária Ltda

FORTALEZA- CE
DEZEMBRO DE 1997

Lote: 02293 - Prep () Scan (X) Index ()
Projeto Nº 11111
Volume
Ord. A1 67 Ord. A1
Ord. A2 Ord. A1
Ord. A3 05 Ord. A1

GOVERNO DO ESTADO



CEARÁ
AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
SUPERINTENDÊNCIA DE OBRAS HIDRAÚLICAS – SOHIDRA

PROJETO DE APROVEITAMENTO
HIDROAGRÍCOLA DA BACIA DO RIO
CRUXATI
ITAPIPOCA – CE

VOLUME 3 – RELATÓRIO GERAL DO PROJETO BÁSICO
DA BARRAGEM

0211/03

 **R & M PLANEJAMENTO e CONSULTORIA AGROPECUÁRIA Ltda.**



GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS
SUPERINTENDÊNCIA DE OBRAS HIDRAÚLICAS – SOHIDRA

PROJETO DE APROVEITAMENTO
HIDROAGRÍCOLA DA BACIA DO RIO
CRUXATI
ITAPIPOCA – CE

VOLUME 4 – RELATÓRIO GERAL

000003

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

CAPITULO 1

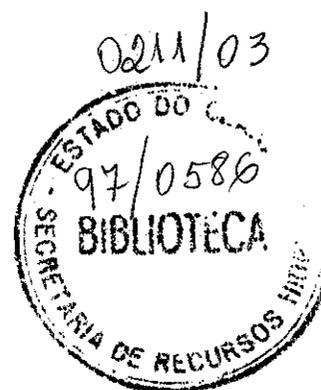
DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO VERTEDOIRO

CAPITULO 2

ESTUDOS GEOTECNICOS

CAPITULO 3

PROJETO TÉCNICO DA BARRAGEM

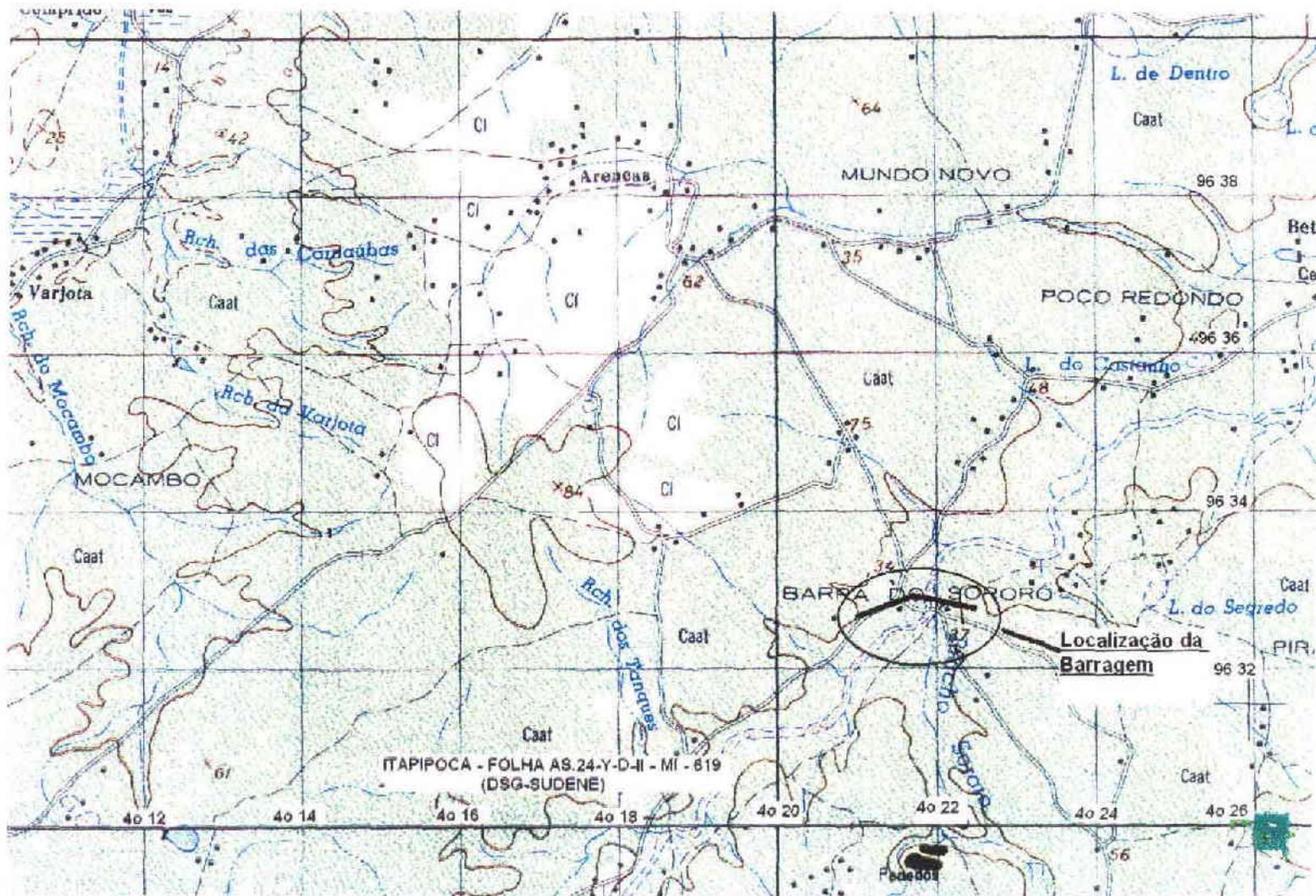


APRESENTAÇÃO

Este relatório consiste o RELATÓRIO GERAL do Projeto desenvolvido na bacia do rio cruxati no município de Itapipoca-Ce, visando o seu aproveitamento hidroagrícola.

Os estudos estão sendo executados para a secretaria de Obras Hidráulicas – SOHIDRA, pela empresa R&M Planejamento e Consultoria Agropecuária Ltda.

O objetivo deste relatório e apresentar o dimensionamento hidráulico das obras que compõem alternativa de barramento selecionada, conforme relatório de Concepção Geral do Projeto , considerando custos e volume reservado.



000006

R&M

CAPITULO 1

DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO VERTEDOURO

1.1 INTRODUÇÃO

O presente Capítulo apresenta os estudos hidrológicos com vistas ao dimensionamento do reservatório Sororó. Este relatório fundamenta-se nos estudos hidroclimatológicos realizados para a bacia hidrográfica do rio Cruxati.

O reservatório Sororó é um barramento no rio de mesmo nome afluente do rio Cruxati, rio este pertencente a região hidrográfica denominada pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos como Bacias Litorâneas.

O relatório de Estudos Hidrológicos é dividido em dois grandes capítulos; o primeiro descreve os estudos de cheia do barramento e o segundo capítulo descreve os estudos de capacidade de regularização do mesmo.

1.2 DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO VERTEDOURO

Apresenta-se a seguir a metodologia utilizada no dimensionamento hidrológico do vertedouro e sua laminação usando coeficiente de descarga 2,10 (tipo CREAGER) e 1,70 (tipo SOLEIRA ESPESSA) usando as larguras de 50, 75 e 100 metros.

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 cheias em cada subacia e por fim a propagação da cheia no canal. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1¹.

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Rio Sororó foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo desenhado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietograma de projeto correspondente a um período de retorno(T_r) de 500 anos e verificado para uma cheia de 1000 anos.

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 Rio Sororó, diante dos dados disponíveis e possíveis de serem levantados em tempo hábil, foi adotado o seguinte:

¹US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER,

1990. HEC-1 FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE - USERS MANUAL, 415 p.

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 da Onda Cinemática para a propagação em canais

1.1.1 Precipitação

A Determinação da Chuva de Projeto foi realizada com a utilização do método das isozonas do Prof. Tabora.

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia do Rio Sororó 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 na curva intensidade-duração-freqüência definido para a região nos estudos climatológicos, utilizou-se o posto de Itapipoca (2870084) como o posto de referência da região.

A partir daqueles estudos calcula-se a precipitação associada aos tempos de retornos já definidos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24h.

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 tomenta (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):

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

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

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

A precipitação pontual é ajustada à área da sub-bacia usando a seguinte equação:

$$F = 1 - BV \cdot (1 - EXP(-0,015 \cdot A))$$

onde F é o coeficiente de ajuste da precipitação pontual, BV é a máxima redução da chuva pontual, e A é a área da sub-bacia em milhas quadradas. Os fatores de conversão de chuva pontual estão dados no Tabela 1.

Tabela 1

Quadro 2 - Fatores de conversão de chuva pontual

Duração (h)	BV
0,5	0,480
1	0,350
3	0,220
6	0,170
24	0,090
48	0,068
96	0,055
168	0,049
240	0,044

HEC-1 (1990)

1.1.2 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 componentes do modelo HEC-1: hidrograma unitário e onda cinemática. No caso do hidrograma unitário, estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia). Por outro lado, no caso da onda cinemática, estas perdas podem ser especificadas para cada plano de escoamento, sendo assumidas uniformemente distribuídas sobre estes planos.

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

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

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

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

onde CN varia de 30 a 100 (quadros 3-4). CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura. Os quadros 5.3.2 e 5.3.3 apresentam CNs 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 a Tabela 3.

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.

Tabela 2: CN PARA ÁREAS URBANAS¹

DESCRIÇÃO DA COBERTURA		CN P/ GRUPOS DE SOLOS HIDROLÓGICOS			
Tipo de Cobertura e Condição Hidrológica	% Média de Áreas IMP. ²	A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desenvolvidas (vegetação condicionada)					
Espaço aberto (parques públicos, campos de golfe, cemitérios, etc...) ³ :					
• condição pobre (cobertura de grama < 50 %)		68	79	86	89
• condição média (cobertura de grama de 50-75 %)		49	69	79	84
• condição boa (cobertura de grama > 75 %)		39	61	74	80
Áreas impermeáveis:					
• lotes de parques pavimentados, telhados, viadutos, etc...		98	98	98	98
• Ruas e estradas asfaltados e com drenagem de águas pluviais					
• Pavimentada; valas		98	98	98	98
• Carroçal		83	89	92	93
• Terra		76	85	89	91
		72	82	87	89
Distritos urbanos:					
• Comerciais e de escritórios	85	89	92	94	95
• Industriais	72	81	88	91	93
Distritos residenciais por tamanho de lote médio:					
• < 500 m ² (casas de cidade)	65	77	85	90	92
• 1000 m ²	38	61	75	83	87
• 1300 m ²	30	57	72	81	86
• 2000 m ²	25	54	70	80	85
• 4000 m ²	20	51	68	79	84
• 8000 m ²	12	46	65	77	82
Áreas urbanas em desenvolvimento					
Áreas sistematizadas recentemente (somente áreas permeáveis, nenhuma vegetação)		77	86	91	94
Terras ociosas (CNs são determinados usando tipos de cobertura similares a aqueles do quadro 4)					

1. Condição de umidade antecedente média e Ia = 0.2 S.
2. A % de área impermeável média apresentadas são usadas para desenvolver os CNs compostos. Outras suposições: áreas impermeáveis estão diretamente conectadas ao sistema de drenagem; áreas impermeáveis tem um CN = 98; e áreas permeáveis são consideradas equivalentes ao espaço aberto em boa condição hidrológica.
3. CNs apresentados são equivalentes a aqueles de pastos. CNs compostos podem ser calculados para outras combinações de tipo de cobertura p/ espaço aberto.

Tabela 3: CN PARA OUTRAS TERRAS AGRÍCOLAS¹

DESCRIÇÃO DA COBERTURA		CN P/ GRUPOS DE SOLOS HIDROLÓGICOS			
Tipo de Cobertura e Condição Hidrológica	Condição Hidrológica	A	B	C	D
Pastagens ou forragens ²	C	60	72	81	84
	C&T	57	70	78	89
	Pobre	68	79	86	89
	Média	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
Campos permanentes, não usados para pasto e geralmente cortados para feno	---	30	58	71	78
Mato - capim com mato sendo o elemento principal ³	Pobre	48	67	77	83
	Média	35	56	70	77
	Boa	30 ⁴	48	65	73
Florestas - combinação de gramado (pomar ou fazenda de árvores) ⁵	Pobre	57	73	82	86
	Média	43	65	76	82
	Boa	32	58	72	79
Florestas ⁶	Pobre	45	66	77	83
	Média	36	60	73	79
	Boa	30 ⁴	55	70	77
Locais de fazenda-construções, veredas, estradas, e lotes circunvizinhos	---	59	74	82	86

1. Condição de umidade antecedente e $I_a = 0.2 S$.
2. Pobre: menos do que 50% da cobertura do solo em pastagem pesada. Média: 50-75% de cobertura do solo e sem pastagem pesada. Boa: mais do que 75% de cobertura do solo e ligeiramente ou somente ocasionalmente com pastagem de animais.
3. Pobre: menos do que 50% de cobertura do solo. Média: 50-75% de cobertura do solo. Boa: mais do que 75% de cobertura do solo.
4. Curva número atual é menor do que 30; use $CN = 30$ para cálculos de escoamento.
5. CNs apresentados foram calculados para áreas com 50% destinado ao crescimento de árvores e 50% de cobertura de grama (pastagem).
6. Pobre: Adubo de floresta, pequenas árvores, e mato são destruídos pela pastagem pesada de animais ou queimadas regulares. Média: Árvores em crescimento são roçadas mas não queimadas, e algum adubo de floresta cobre o solo. Boa: Árvores em crescimento são protegidas da roçagem, e adequados adubo e mato cobrem o solo.

Tabela 4: COEFICIENTES CURVA-NÚMERO CORRESPONDENTES ÀS TRÊS CONDIÇÕES DE DE UMIDADE ANTERIORES (AMC)

AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III
100	100	100	60	40	78
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89	76	96	49	30	69
88	75	95	48	29	68
87	73	95	47	28	67
86	72	94	46	27	66
85	70	94	45	26	65
84	68	93	44	25	64
83	67	93	43	25	63
82	66	92	42	24	62
81	64	92	41	23	61
80	63	91	40	22	60
79	62	91	39	21	59
78	60	90	38	21	58
77	59	89	37	20	57
76	58	89	36	19	56
75	57	88	35	18	55
74	55	88	34	18	54
73	54	87	33	17	53
72	53	86	32	16	52
71	52	86	31	16	51
70	51	85	30	15	50
69	50	84			
68	48	84			
67	47	83			
66	46	82	25	12	43
65	45	82	20	9	37
64	44	81	15	6	30
63	43	80	10	4	22
62	42	79	5	2	13
61	41	78	0	0	0

1.1.3 Definição do CN

A partir dos mapas pedológicos dos estudos realizados pela SUDENE intitulado "Mapa exploratório de Solos" identificou-se solo Podzólico Vermelho/Amarelo eutrófico na alta bacia e Planossolo solódico na baixa bacia do rio Sororó, do mapa de Vegetação do IPLANCE pode se identificar uma floresta subcaducifólia (matas secas) na região de montante da bacia e caatinga arbustiva na baixa bacia, estes dados levam a caracterizar os solos como hidrologicamente do tipo C (segundo a classificação do SCS) com CN entre a 72 e 77. A distribuição espacial do CN nas diversas subacias é mostrada no capítulo Estrutura do Sistema Modelado.

1.1.4 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:

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

onde Q_p é a vazão de pico (m³/s) e t_p = tempo de pico do hidrograma (h).

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 $\Delta t = 0,20 \cdot t_p$, não devendo exceder $0,25 \cdot t_p$. Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$t_{lag} = 0,60 \cdot T_c \quad e \quad 1,7 \cdot t_p = \Delta t + T_c$$

onde T_c = é o tempo de concentração da sub-bacia. O HEC-1 sugere que $Dt \leq 0,29.T_{LAG}$. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessário de uma estimativa do tempo de concentração de cada sub-bacia. Estes tempos de concentração foram avaliados através da aplicação do método da onda cinemática.

1.1.5 Propagação da Cheia nos Canais

As dimensões da bacia de contribuição indicaram um modelo semi-distribuído para modelar o evento extremo, sendo o escoamento superficial em cada sub-bacia modelado a partir das metodologias descritas acima para os hidrogramas, sendo nos canais utilizado um modelo de propagação da cheia. A propagação da cheia nos canais teve o objetivo de possibilitar uma composição das cheias afluentes das diversas sub-bacias obedecendo a cronologia dos escoamentos nas mesmas (não se pode compor vazões que ocorreram em tempos diferentes) e de possibilitar que a teoria dos hidrogramas unitários sintéticos pudesse ser aplicada em bacias pequenas.

As metodologias para a propagação do hidrograma das cheias pode se utilizar de modelos com formulação originariamente hidrológica

(Muskingum) ou hidrodinâmicas (onda Cinemática²³, onda difusiva⁴, onda dinâmica⁵). O modelo Muskingum pode ser deduzido a partir do modelo da onda cinemática, reduzindo do ponto de vistas prático a três alternativas de cálculo do transiente em canais.

Todos os modelos hidrodinâmicos são compostos pelas equações da continuidade e da quantidade de movimento, distinguindo-se nos termos desta última que são considerados no cálculo. O método utilizado para a propagação da cheia nos canais da rede de drenagem foi o da onda cinemática, o qual é uma simplificação da equação de quantidade de movimento, equação 5.

²CUNJE, J.A., 1969, "AU SUJET D'UNE METHODE DE CALCUL DE PROPAGATION DE CRUES (METHODE MUSKINGUM)". JOURNAL OF RESEARCHES HYDRAULIQUES, N0 2.

³LI, RM, DARYL, B.S & STEVENS, 1975, "NONLINEAR KINEMATIC WAVE APROXIMATION FOR WATER ROUTING". M.A. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL.11, N02, APRIL.

⁴ PONCE, V.M., 1986, "DIFFUSION WAVE MODELING OF CATCHEMENT DYNAMICS", PONCE, V.M, JOURNAL OF HYDRAULICS ENGINEERING, VOL.112, NO8, AUG,1986.

⁵ "MODELOS MATEMÁTICOS EM HIDROLOGIA E HIDRÁULICA", RBE, VOL.3, RIO DE JANEIRO, 1986.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} + g \cdot A \cdot \frac{\partial y}{\partial x} = g \cdot A \cdot S_0 - g \cdot A \cdot S_f \quad (5)$$

iné ría
pressão
gravidade
atrito

Nesta equação o primeiro termo representa a aceleração local, o segundo termo é o termo advectivo, inercial, o terceiro termo representa as forças de pressão, o quarto termo a força do campo gravitacional e o quinto termo as forças de fricção. A equação da onda cinemática considera que os termos gravitacionais e de fricção são os mais significativos, desprezando o efeito dos demais.

A equação da onda cinemática após a simplificação é descrita pelas equações 3 e 4. As equações 3 e 4 podem ser compostas e esta resolvida de forma linearizada. O HEC-1, utilizado como ferramenta para as simulações hidrológicas faz uso desta forma linearizada.

As equações 3 e 4 descrevem a onda cinemática, sendo a primeira de conservação da massa e a segunda a de conservação da quantidade de movimento.

$$b \cdot \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = p \quad (3)$$

e

$$S_o = S_f \quad (4)$$

onde

y = profundidade;

b = largura;

Q = vazão;

x = distância no sentido longitudinal;

$p = p(x,t)$ - precipitação.

A equação de conservação da quantidade de movimento utilizada pela onda cinemática é simplificada, nesta equação são desprezados o efeito das forças de inércia e de pressão sendo considerado apenas os efeitos das forças gravitacionais e de fricção. Esta simplificação do modelo condena-o a ser restrito a escoamentos submetidos a altas declividades e que não sofram efeitos de jusante.

1.1.6 Propagação da Cheia no Reservatório

A propagação da cheia no reservatório será calculada utilizando como ferramenta computacional o programa HEC-1 e como metodologia de cálculo o método de Pulls modificado.

Os hidrogramas defluentes das barragens foram calculados pelo método de Pulls, o qual baseia-se em um balanço hidrológico no reservatório caracterizado pela equação da continuidade:

$$I - Q = \frac{ds}{dt}$$

Esta equação pode ser resolvida por diferenças finitas, tendo a discretização a forma descrita a seguir:

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

Onde

I_t - Vazão afluente ao reservatório

Q_t - Vazão efluente ao reservatório

Δt - Intervalo de tempo

S_t - Água estocada no reservatório

1.1.7 Topologia da Bacia do Sororó

O principais rios da Bacia hidrográfica do Sororó apresenta um perfil topográfico de sua nascente a foz como apresentado nas Figuras a seguir.

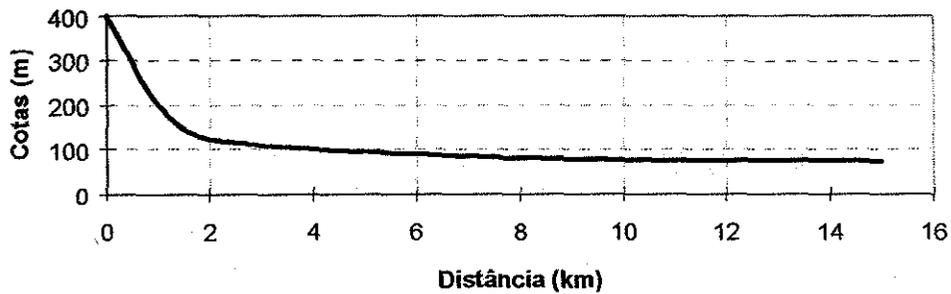


Figura 1:: Rio Afluente ao reservatório Poço Verde

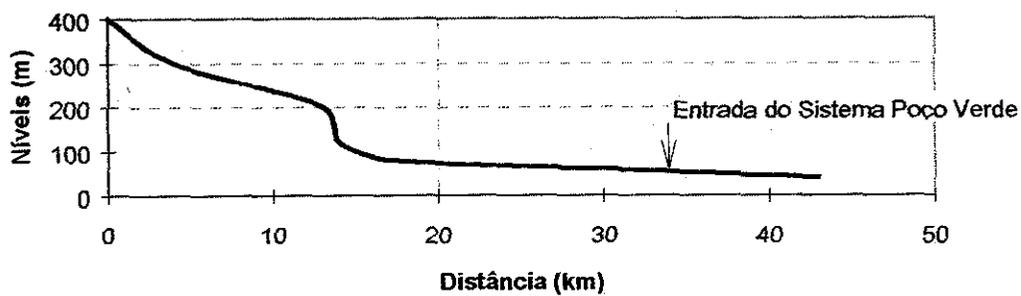


Figura 2: Perfil do Rio Sororó

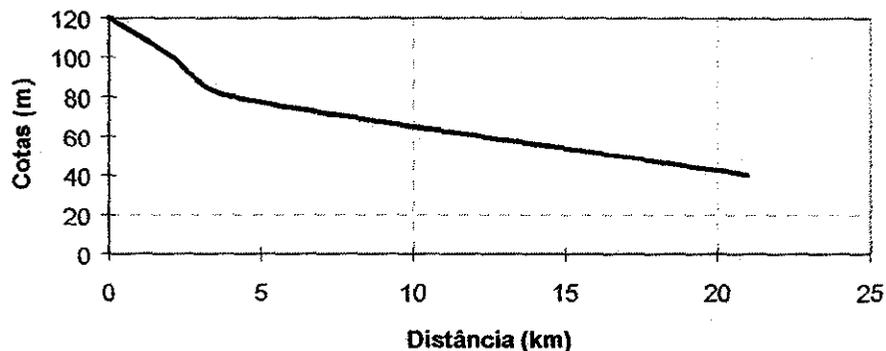


Figura 3: Perfil do Riacho dos Macacos Afluente do Sororó

1.1.8 Estrutura do Sistema Modelado

A rede hidrográfica que tem como exutório o boqueirão da barragem Sororó tem uma área de 298,8 km² e tem apenas uma barragem de significado a barragem de Poço Verde.

A bacia hidrográfica do Sororó, para efeito do estudo de cheias foi dividida em cinco subacias a saber a primeira com 110 km² compreende o alto Sororó tendo seu exutório na confluência do rio Sororó com o Poço Verde, a segunda corresponde a área de drenagem do reservatório Poço Verde, a quarta é a área de drenagem do Riacho do Macaco e a quinta o baixo Sororó compreendendo o restante da bacia hidrográfica que tem como exutório o futuro barramento do rio Sorroró. A figura a seguir mostra o diagrama unifilar

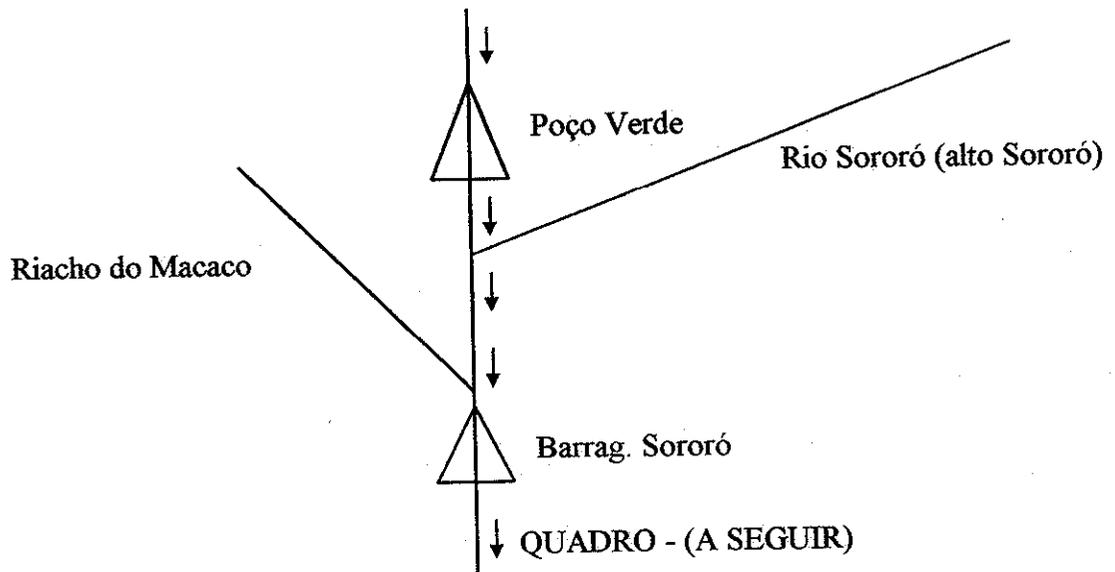


Figura 4: Diagrama Unifilar da Bacia Hidrográfica do rio Sororó

O CN e o tempo de concentração das diversas subacias são apresentadas na Tabela a seguir.

Tabela 5: Área das subacias, CN e tempos de concentração

Subácia	CN	Tempo de Concentração (h)	Área (km ²)
Alto Sororó	72	5,88	110,0
Poço Verde	75	3,45	23,5
Riacho do Macaco	72	6,6	62,5
Baixo Sororó	77	5,5	41,0

1.1.9 Resultados

Os resultados obtidos estão sintetizados na tabela a seguir e representam o pico de vazão associado a um evento de chuva de 1000 anos de recorrência.

As afluições do reservatório Sororó são descritas para diversas configurações de vertedouro no quadro a seguir. A soleira do vertedouro encontra-se na cota 95 m.

Tabela 6: Resultados da Propagação da Cheia com Vertedouro Creager

Comprimento do vertedouro (m)	Vazão Efluente do Barramento (m³/s)	Cota do Nível Máxima durante a Propagação da Cheia (m)	Altura da Lâmina d'Água (m)
50	332	97,17	2,17
75	398	96,86	1,86
100	442	96,65	1,65

Tabela 7: Resultados da Propagação da Cheia com Vertedouro de Soleira Espessa

Comprimento do vertedouro (m)	Vazão Efluente do Barramento (m³/s)	Cota do Nível Máxima durante a Propagação da Cheia (m)	Altura da Lâmina d'Água (m)
50	299	97,34	2,34
75	365	97,02	2,02
100	410	96,80	1,80

1.2.0 CURVAS DE REGULAÇÃO DO RESERVATÓRIO

1.2.1 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 Sororó;
2. estimativa das perdas por evaporação e vertimento da barragem;
3. definição dos níveis de permanência do reservatório

O traçado das curvas de regulação, inclui: volumes evaporado (E), liberado (M) e vertido (V) versus capacidade (K) e dM/dK versus K, e os níveis de permanência do reservatório.

1.2.2 Metodologia

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado a solução direta da equação de balanço hídrico⁶.

⁶ CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR. UFC.

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 ;

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 $\text{MIN}(0,5.K; 0,5.\mu)$;
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

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

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

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

VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_3 = \alpha \cdot h_3^3$$

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.

1.2.3 Resultados

As vazões afluentes anuais do reservatório Sororó foram obtidas a partir da análise de dados do modelo chuva-deflúvio MODHAC apresentado nos estudos hidro-climatológicos. Estes dados são apresentados na Tabela a seguir.

Tabela 8: Resumo das afluições ao reservatório Sororó

Dados Básicos	Boqueirão Sororó
AREA (km ²)	298,8
Média dos escoamnetos(m ³ /s)	1,83
Média dos escoamnetos(hm ³ /ano)	58,0
Coefficiente de Variação	0,73
lamina média anual (mm)	194

A aplicação do método descrito no capítulo anterior é necessário a determinação do fator de forma α , 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,

Sororó

$\alpha = 8000$	fator de forma
$f_e = 0,17$	fator de evaporação
$E = 1070 \text{ mm}$	Evaporação

onde α é obtido por regressão entre V e h^3 (V - volume e h - profundidade : Cota x Área x Volume) e f_e dado por:

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

Com base nestes valores utilizou-se a solução direta da equação do balanço hídrico para o estudo incremental de capacidades do Reservatório Sororó. Na tabela a seguir apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e vertidos em função de f_k para os níveis de garantia de 90%. A Figura 5 apresenta as curvas de regulação para o reservatório Sororó para estes níveis de garantia.

Embora a análise da Figura 5 não sugira diretamente um valor adequado para a capacidade do reservatório Sororó, indica-se um volume igual a 16 hm³ (cota = 95), uma vez que:

- a relação entre a capacidade do reservatório e o volume afluente ao mesmo fica em torno de 0,6 (fator de capacidade f_k);

- Limitações topográficas impedem capacidades de acumulação maiores para o reservatório.

Para esta capacidade o reservatório regulariza, com nível de garantia de 90%, cerca de 34% do volume afluente médio anual, ou em termos de volume, 19,5 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 0,62 m³/s.

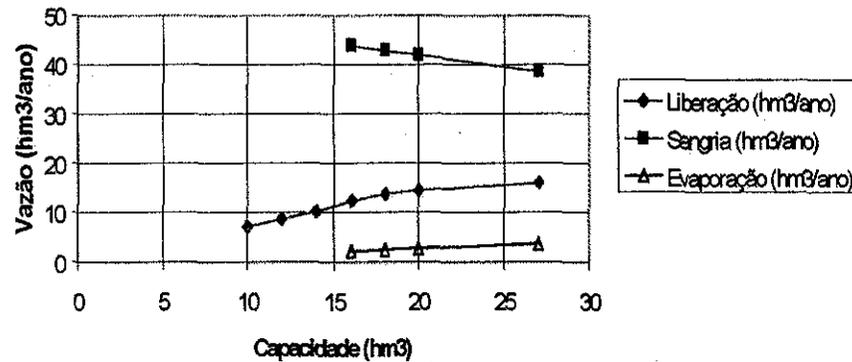
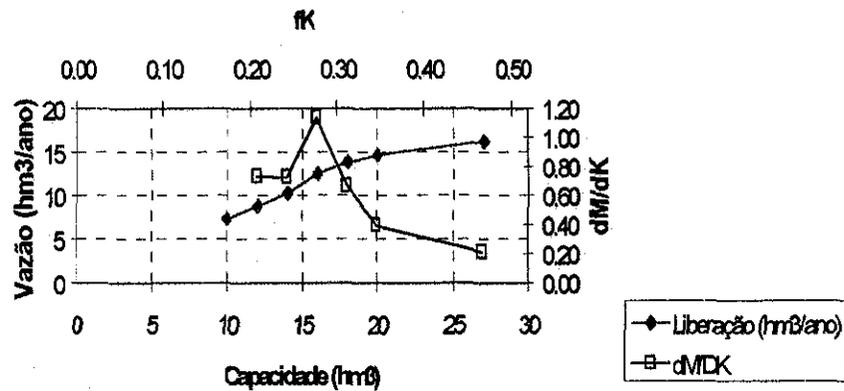


Figura 5: - Curvas de Regulação do Reservatório Sororó

000034

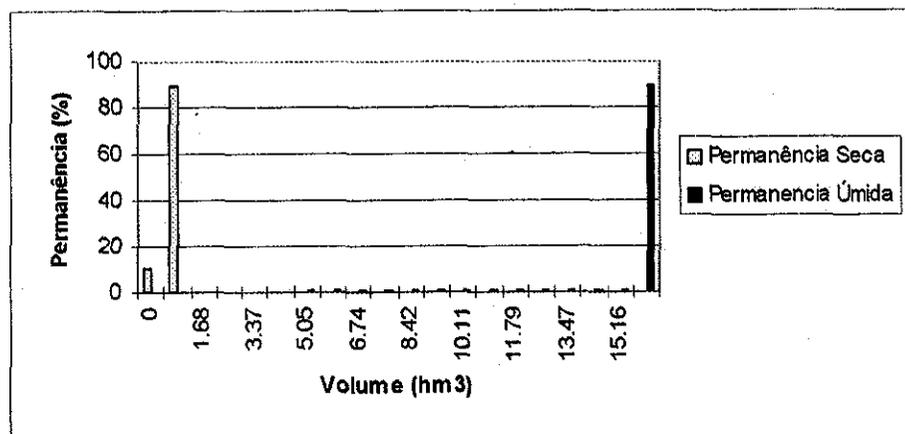


Figura 6: - Curvas de Permanência do Reservatório Sororó para a retirada com 90% de garantia

A Figura 6 mostra o nível de permanência do reservatório ao final da estação seca e úmida. Observa-se que a curva de permanência caracteriza o reservatório como subdimensionado com características de reservatório de regularização anual; este fato é evidenciado pela alta permanência próximo ao porão do reservatório ao final da estação seca e pela alta permanência próximo a sangria na estação úmida indicando uma transferência das águas escoadas no primeiro período (úmido) para o segundo período (seco).

R&M

CAPITULO 2

GEOTECNIA

2.1 APRESENTAÇÃO

O presente capítulo traz os resultados da campanha de sondagens geotécnicas realizada na localidade de Barra do Sororo, a cerca de 23 Km a noroeste da cidade de Itapipoca/CE, objetivando recolher informações do solo e subsolo para cálculo e construção das fundações e do maciço da barragem do Sororo.

2.2 METODOLOGIA

Os trabalhos se iniciaram com inspeção geral da área de trabalho, coletando-se informações das litologias aflorantes e do solo local.

Estava prevista a execução de sondagens a trado, pá/picareta, a percussão-SPT e rotativa com recuperação de testemunho. Porém, a geologia local não permitiu a execução dos furos a trado e SPT, pois as rochas cristalinas são aflorantes ou sub-aflorantes ao longo de toda a área trabalhada.

Foram então executadas as sondagens à pá/picareta nos locais previstos, incluindo aqueles reservados para sondagens à percussão. Todas as escavações atingiram o manto de alteração da rocha granítica.

Além destas sondagens no eixo locado da barragem, foram executadas mais outras 08 sondagens a pá/picareta (na área da bacia), com profundidade média de 0,5 m, objetivando mapear áreas de jazidas de solo para construção do maciço da barragem.

Foram também realizadas quatro sondagens rotativas, com sonda General 300 (fotos em anexo) e barrilete duplo móvel BWM.

Estas sondagens são iniciadas com a introdução do barrilete em movimento rotativo com injeção de lama de perfuração através do barrilete e das hastes de perfuração. Como revestimento do furo, são cravados tubos de 2" até rocha sã. A cada manobra de hastes (1,5m) é feita a coleta do testemunho, anotando-se em planilha o comprimento da amostra, percentual deste comprimento no barrilete, número total de pedaços da amostra e

comprimento total dos pedaços com comprimento ≥ 10 cm. Com estes dados, calcula-se o índice RQD (Rock Quality Designation) que é igual ao percentual do comprimento total de pedaços ≥ 10 cm em todo o avanço do barrilete.

2.3 SERVIÇOS EXECUTADOS

Foram executadas ao longo do eixo locado da barragem as seguintes sondagens a pá/picareta (SPP) e sondagens rotativas (SR), cujos perfis estão mostrados em anexo ao relatório específico de geotécnia.

Sondagem	Nº Estaca	Prof. (m)
SSP 01	05	0,9
SSP 02	07	0,8
SSP 03	09	0,9
SSP 04	11	1,0
SSP 05	16	1,0
SSP 06	19 (20 m à jusante)	1,5
SSP 07	19 (20 m à montante)	1,3
SSP 08	30	0,3
SSP 09	35	1,1
SSP 10	37	1,0
SSP 11	39	0,8
SSP 12	41	1,0
Total (m)		11,6 m
SR 01	13	7,4
SR 02	19	8,5
SR 03	32	7,0
SR 04	46	2,0
Total (m)		24,9 m

Com amostras de solo colhidas foram realizados vários ensaios no laboratório do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, cujos resultados encontram-se em anexo ao relatório específico de geotécnia.

2.4 SEÇÃO ESTRATIGRÁFICA

Apresentamos em anexo ao relatório de geotécnia , seção estratigráfica longitudinal do eixo da barragem com a localização das sondagens e seus resultados.

2.5 RESULTADOS E CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos, a área da barragem é dominada superficialmente por solo de comportamento argilo-arenoso, de coloração amarelada a cinza amarronzada e com muitos seixos rolados e pedregulho.

Nas épocas de estiagem, este solo apresenta-se totalmente seco, dificultando bastante a escavação manual com pá e picareta. Quando do inverno, este solo apresenta comportamento argiloso.

Esta capa de solo local tem sua espessura variando de 0,10 a 3,0m, confundido-se muitas vezes com o próprio manto de alteração das rochas.

Nas calhas dos Riachos dos Macacos e Sororo, a cobertura é arenosa de cor creme e com granulometria de fina a grossa (aluvião).

As sondagens rotativas permitiram identificar a existência de um substrato cristalino formado por uma litologia essencialmente granítica com eventuais veios de quartzo.

O granito é maciço, de cor cinza, granulação média, porfirítico, com fenocristais de feldspato e granada, e muitos minerais máficos, pouco a medianamente alterado e com poucas fraturas.

Nas calhas dos Riacho dos Macacos e Sororo e em muitas áreas da bacia estudada, ocorrem inúmeros afloramentos de granito na forma de lajedos ou enormes

matacões. Podem ser encontrados também nas calhas dos riachos locais, jazidas de seixos rolados e muita areia fina a grossa .

Com relação à jazidas para construção do maciço, foram encontradas várias manchas de solos areno-argilosos, com pedregulho e seixos de quartzo, ao longo das margens direita e esquerda dos Riachos dos Macacos e Sororo (área da bacia), a cerca de 100 a 500 metros à montante do eixo da barragem, predominantemente entre o centro e sua ombreira direita (Leste).

Nestas manchas, os solos apresentam-se com espessura de 0,5 a 3,0 metros e espalhados em áreas de cerca de 1 a 10 ha, com cobertura vegetal predominante de Juremas e Carnaúbas.

R&M

CAPITULO 3

PROJETO TÉCNICO DA BARRAGEM

3.1 FICHA TÉCNICA

As principais características técnicas da Barragem SORORO são resumidas a seguir.

a) – Localização e características gerais

◆ Rio.....	Sororó
◆ Sistema.....	Cruxati
◆ Município/Estado.....	Itapipoca/Ce
◆ Área de Drenagem.....	
◆ Área do Reservatório (cota 98,00 m).....	
◆ Volume Morto (cota 87,50 m).....	1,60 hm ³
◆ Volume Útil.....	14,43 hm ³
◆ Volume Máximo.....	16,03 hm ³
◆ N.A Máximo Normal.....	95,00 m
◆ N.A Máximo Maximorum.....	96,65 m

b) - Barragem

◆ Tipo.....	Terra Zoneada
◆ Cota do Coroamento.....	98,00 m
◆ Altura Máxima.....	16,15 m
◆ Comprimento da Crista.....	1.359 m
◆ Largura da Crista.....	5,40 m
• Volume de:	
Núcleo.....	35.843 m ³
Fundação.....	10.730 m ³
Montante.....	124.639 m ³
Jusante.....	92.161 m ³

Filtros.....	25.479 m ³
Transição.....	1.132 m ³
Brita corrida (rip-rap).....	26.206 m ³
Enrocamento (rock fill).....	2.298 m ³

◆ Volume total da Barragem..... 318.488 m³

c) - Sangradouro

◆ Tipo.....	Creager
◆ Cota da soleira.....	95,00 m
◆ Largura	100,00 m
◆ Vazão Efluente (TR - 1000 anos).....	442 m ³ /s
◆ Lâmina d'água máxima.....	1,65 m
◆ Volume de Corte.....	23.000 m ³

d) - Tomada D'água

◆ Tipo.....	Galeria
◆ Número de condutos.....	1
◆ Diâmetro do conduto.....	400 mm
◆ Comprimento do conduto.....	60 m
◆ Cota do eixo de montante da galeria.....	88,30 m
◆ Vazão de regularização.....	165 l/s

3.2 - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

A barragem Cruxati é composta por um conjunto de obras definidas pelo maciço de terra, um sangradouro do tipo Creager situado na ombreira esquerda e uma tomada d'água em galeria na ombreira direita.

A disposição física destas obras pode ser visualizada no *lay out* contido no Desenho n- 01 - Arranjo Geral das Obras, nos Desenhos do Projeto. As diversas obras que compõem o projeto serão descritas a seguir, destacando os princípios técnicos adotados na concepção individual de cada uma delas.

Vale salientar que o dimensionamento e a concepção das obras deste projeto tiveram como referência os estudos básicos topográficos, hidrológicos e geológico-geotécnicos fornecidos em forma de relatório individual de onde foram retirados os dados e parâmetros necessários que permitiram uma otimização nos conceitos técnicos e econômicos na definição e elaboração do projeto.

3.2.1 - ASPECTOS GEOLÓGICO - GEOTÉCNICOS

Definidos os estudos básicos, topográficos e hidrológicos, mostraremos neste item a partir do relatório geológico-geotécnico fornecido para a elaboração do referido projeto, alguns aspectos que contribuíram definitivamente para o posicionamento e dimensionamento das diversas obras da barragem.

A partir de estudos já elaborados na região de interesse do projeto, bem como de inspeções recentes, realizadas *in loco* no sítio do barramento, pode-se tecer alguns comentários sobre a descrição geológico-geotécnica regional e local para a implantação do empreendimento.

A título de simplificação, o esboço geológico regional compreende basicamente rochas pré-cambrianas com tipo litológico predominante de gnaisses e migmatitos diversos, exibindo nos relevos elevados de

serra, corpos de granitóides, dioritos e granitos diversificados do proterozóico superior. Estas rochas estão limitadas ao norte nas proximidades do boqueirão Sororó, pelos sedimentos costeiros e inconsolidados do Terciário e Quaternário pertencentes ao Grupo Barreiras e às Coberturas Sedimentares de espraimento aluvial.

A bacia de contribuição a partir da seção do barramento proposto, encontra-se completamente em terreno do Embasamento Cristalino, compreendidas pelas rochas Pré-cambrianas e Proterozóicas descritas anteriormente. Uma melhor visualização do esboço geológico-regional pode ser verificado na figura apresentada a seguir.

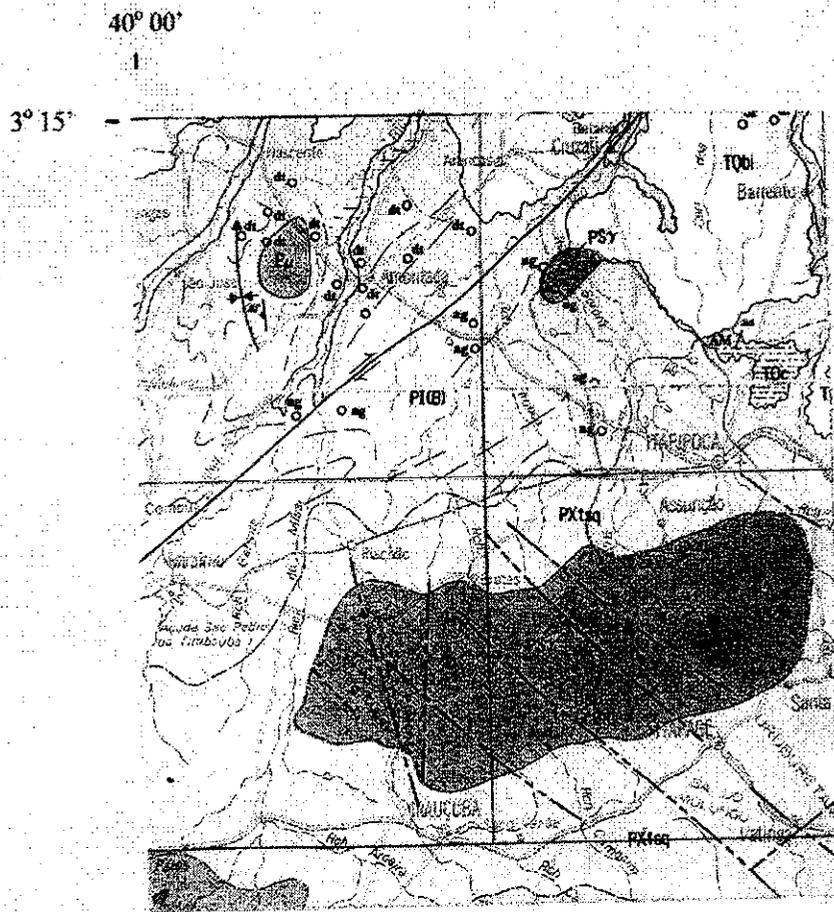


Figura 1 . MAPA GEOLÓGICO REGIONAL (Fonte : Mapa Geológico do estado do Ceará, 1993 – Esc. 1: 500.000)

No sítio do barramento nas áreas que correspondem às ombreiras ou zonas mais elevadas, verifica-se um capeamento de solo residual de pouca espessura. Logo abaixo desta camada residual encontra-se rocha granítica apresentando características resistentes aos processos de decomposição e alteração.

Os comentários que se seguem são baseados nos levantamentos geológico - geotécnicos realizados no sítio do barramento, bem como nas áreas das jazidas de empréstimos através de investigações de superfície e subsuperfície com coleta e análise em laboratório dos materiais de fundação e de construção da barragem.

A barragem será totalmente ascente sobre rocha granítica que, segundo as sondagens realizadas no eixo, apresenta profundidade não superior a 3,00 m que pode ser verificado nas sondagens (SM-01/E-12) e (SM-03/E-31), estando basicamente aflorando em forma de grandes blocos entre as estacas E-21 e E-28. Nos trechos mais elevados do eixo a profundidade média é em torno de 1,00 m caracterizando o capeamento do solo residual de pouca espessura proveniente da alteração da rocha granítica verificada predominantemente nas ombreiras. Nas partes baixas do boqueirão onde estão localizados os sedimentos coluviais pouco representativos no local do sítio barrável e na calha do rio onde estão os aluviões, os mesmos não atingem 2,00m de profundidade.

A rocha de fundação, portanto, possui qualidades de rocha sã, pouco a medianamente fraturada e de elevada recuperação, podendo ser visualizado nos perfis das sondagens realizadas. Uma observação importante detectada nas sondagens (SM-01/E-12) e (SM-02/E-18) é a perda d'água durante a execução dos dois furos, o que pode ser provocado pelo maior fraturamento da rocha nos seus primeiros 2,00 m perfurados onde a recuperação varia entre 10 e 33%, e a existência de uma fratura vertical considerável observada na foto n- 15 referente a SM-01, documentada no relatório geotécnico para a elaboração deste projeto.

O maciço rochoso, portanto, apresenta características bastante favoráveis quanto aos aspectos geomecânicos e de suporte, apontando para a barragem uma fundação direta do tipo *cut-off*.

Quanto à escolha de um local para o posicionamento do sangradouro, o mesmo ficará situado na ombreira esquerda, no mesmo local já estudado e definido no estudo de viabilidade como técnica e economicamente mais favorável. A partir das informações com a execução da sondagem (SM-04/E-45) com recuperação de 100% de rocha sã logo a 1,00 m de profundidade da superfície do terreno natural e de informações de poços a pá e picareta realizados no local, foi possível confirmar o posicionamento do mesmo naquela ombreira.

A tomada d'água será implantada na ombreira direita, mais especificamente na estaca E-10, onde a profundidade da rocha é de 1,00 m a partir da superfície, não existindo nenhum obstáculo quanto a sua implantação neste local.

Quanto aos materiais terrosos identificados para a construção da barragem os mesmos foram distribuídos na seção tipo proposta a partir das informações contidas no relatório geotécnico.

Quanto ao material rochoso não há necessidade de maiores estudos, já que o local inclusive no eixo é abundante de afloramentos de rocha sã. A escavação obrigatória do sangradouro bem como a retirada de grandes blocos localizados no eixo da barragem, deverão ser totalmente aproveitados nos enrocamentos e demais obras da barragem.

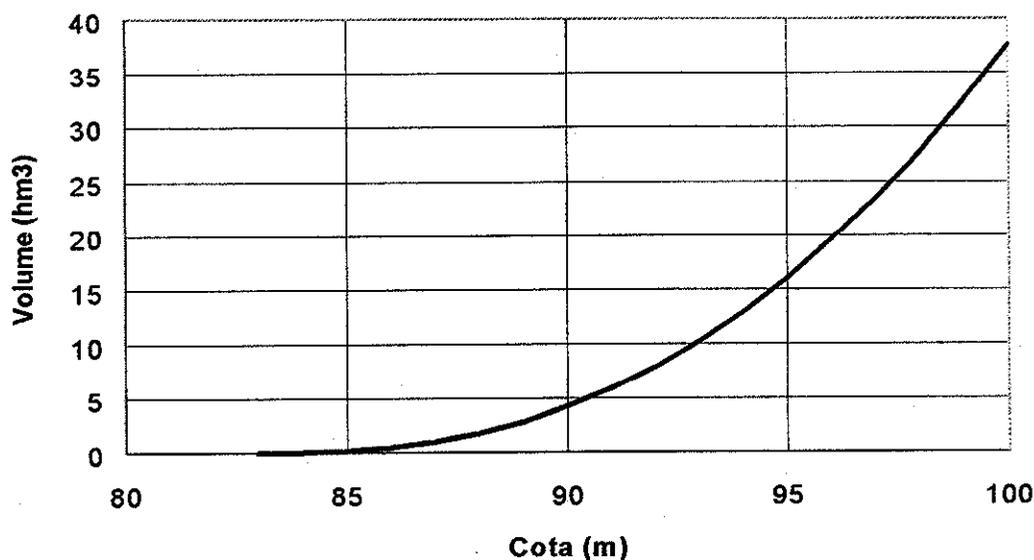
3.2.2 - ARRANJO GERAL DAS OBRAS

Na definição do arranjo geral das obras foram considerados principalmente os condicionamentos topográficos e geotécnicos das fundações do eixo da barragem, do local do sangradouro e da tomada d'água. Procurou-se desenvolver o projeto com objetivo de se conseguir o maior aproveitamento hídrico da bacia, para atender a demanda de abastecimento necessária a jusante da barragem.

O arranjo geral das obras é definido por um maciço de terra que se desenvolve a partir da estaca E-1+6 m na ombreira direita com o coroamento à cota 98,00m, e eixo retilíneo até a estaca E-45+5 m na ombreira esquerda, onde se dá uma deflexão de 62° para montante. Neste sentido segue o maciço retilíneo até a estaca E-54, no qual é interrompido pelo muro de encontro direito do vertedor. No mesmo sentido após o comprimento de 100 m do vertedor, especificamente na estaca E-59, há outro muro de encontro de onde o maciço segue até atingir a cota 98,00m na estaca E-74+5 m na ombreira esquerda, somando um total de 1.359 m de comprimento de maciço pelo coroamento, descontados os 100,00 m de largura do vertedor. O vertedor foi projetado em perfil Creager, com paramento vertical de montante de 1,50 m e com a soleira definida na cota 95,00 m. A tomada d'água será implantada na estaca E-10 na ombreira direita, sendo composta por uma galeria de concreto envolvendo um tubo de ferro fundido de 400 mm de diâmetro e 60 m de comprimento.

3.3.3 - SEÇÃO TIPO

Geometria do maciço - A geometria da seção tipo proposta para o maciço foi traçada principalmente em função dos dados hidrológicos e das características geotécnicas dos materiais de construção. Os dados hidrológicos, juntos com a curva cota-volume (ver figura abaixo), permitiram a definição das cotas ótimas de soleira e do coroamento. Os estudos geotécnicos, por sua vez, permitiram definir os materiais de composição do maciço, seus taludes e sua fundação, levando em conta a localização e disponibilidade dos empréstimos, bem como os condicionamentos geotécnicos de fundação e topográficos do eixo.



Curva cota - volume da barragem Cruxati

Estudando-se o levantamento topográfico da ombreira esquerda do eixo barrável pode-se verificar que, ao contrário do que ocorre na ombreira direita, as curvas de nível passam a se distanciar a partir da cota 96 m, não se encontrando sequer identificadas as curvas de cotas acima de 99 m. Isto determina uma limitação topográfica, devendo a cota do coroamento estar em nível não superior a 98 m. Análises preliminares indicam, por sua vez, que a revanche (isto é, a soma da lâmina H_0 , para cheia de projeto, com a folga f) mede cerca de 3 metros, o que aponta para cota ideal de soleira em 95 m.

Define-se folga como a diferença de nível entre a cota do coroamento e a cota do nível d'água máximo esperado. No caso da barragem Sororó o nível máximo correspondente à cheia milenar. Segundo formulação citada em DNOCS (1979)⁷

$$h = 0,75 + 0,34.Ft^{1/2} - 0,26.Ft^{1/4}$$

⁷ DNOCS, "Roteiro para Projeto de Pequenos Açudes", Fortaleza, 1979, 85 p.

$$f = 0,75.h + V^2/(2.g)$$

$$cel = (g.h)^{1/2}$$

na qual h é a altura estimada da onda em m; Ft o "fetch" do lago em km; V a velocidade da onda em m/s; e f a folga em metros. A velocidade da onda foi estimada em função de sua celeridade "cel". O fetch foi calculado em 4 km para soleira na cota 95 m e nível d'água máximo na cota 96,65 m e, portanto, altura da onda $h = 1,06$ m, celeridade $cel = 3,22$ m/s e folga $f = 1,33$ m. Daí a revanche ($H_0 + f$) ser

$$H_0 + f = 1,65 + 1,33 \cong 3,0 \text{ m}$$

A largura do coroamento B é calculada, em geral, como função da altura máxima do barramento. Tomando-se como base soleira na cota 95 m e o revanche 3 m, a cota do coroamento será de 98,0 m e a altura máxima de 16,15 m, já que o ponto mais profundo no eixo barrável tem cota 81,85 m. Da fórmula de Preece (equação a seguir) chega-se a $B = 5,4$ m, sendo B e $H_{\text{máx}}$ dados em metros.

$$B = 1,1 * H_{\text{máx}}^{1/2} + 0,90$$

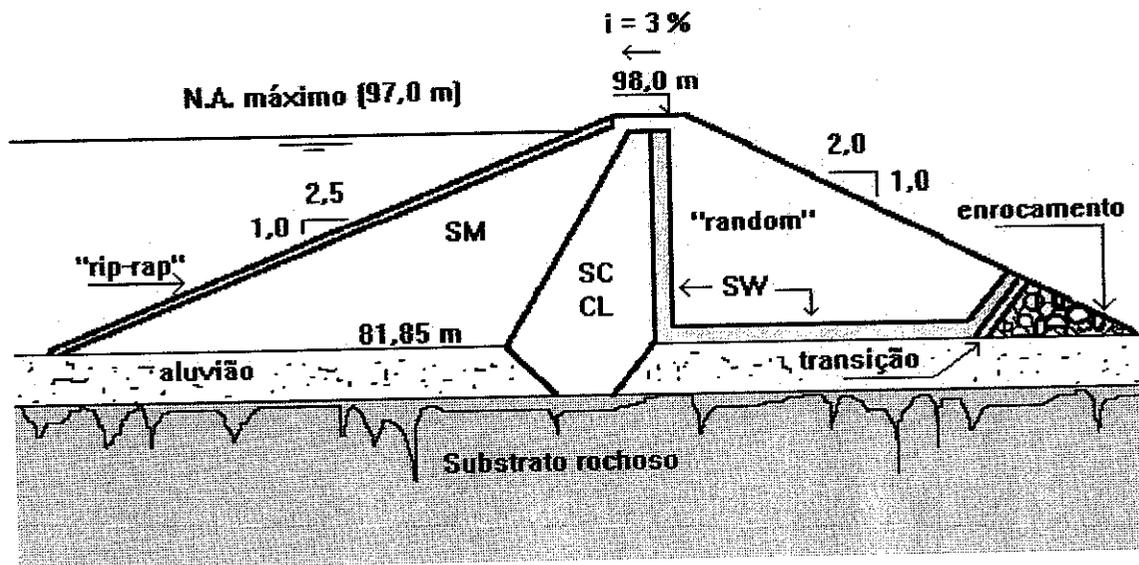
Composição geotécnica da seção - A escolha dos taludes da barragem teve por base o tipo de material que será usado na construção do maciço e baseado em experiências similares. No entanto, a análise da estabilidade do maciço é que justificou a permanência destes valores. A seção máxima encontra-se posicionada no leito do rio na estaca E-18 com cota 81,85 m, possui altura de 16,15 m, com o coroamento definido na cota 98,00 m e largura de 5,40 m com inclinação de 3% para montante. O talude de montante possui declividade de 2,5:1,0 (H:V) do coroamento ao terreno natural e é protegido por uma camada de brita corrida (*rip-rap*) de 1,00 m de espessura. O talude de jusante possui uma declividade mais acentuada de 2,0:1,0 (H:V) sem interferência de bermas, ou seja, uma única inclinação do coroamento até cota 85,60 m no encontro do maciço com o topo do enrocamento de pé (*rock-fill*). A proteção deste talude deve ser através de calhas projetadas do coroamento até o topo do enrocamento (cota 85,60 m), equidistantes de 40 m com plantio de vegetação nativa apropriada entre as mesmas.

A fundação da barragem deve ser executada por meio de uma trincheira de vedação do tipo *cut-off* de base constante com 4,00 m de largura que se aprofundará até o encontro com o topo rochoso, sendo escavada ao longo de toda a extensão do maciço. A fundação deverá ser executada com taludes de 45° com a horizontal, ou seja, 1:1 e estar em contato somente com o núcleo argiloso da barragem, ser construída do mesmo material do núcleo e ser compactada sob as mesmas condições de execução após o tratamento devido da rocha de fundação por meio de concreto dental.

O núcleo argiloso terá seu topo na cota 97,00 m com largura inicial (no topo) de 3,20 m, estando limitado a montante pela linha de contato com a abertura da trincheira de fundação e a jusante pelo filtro vertical.

Em função dos estudos geotécnicos realizados em campo e das análises dos solos em laboratório, sugerem-se os seguintes materiais de constituição da seção: o material de montante, do tipo areno-siltoso a areno-argiloso (SM-SC e SW-SM), deverá ser proveniente das áreas de empréstimos AE-3, AE-4 e AE-5, identificadas na área da bacia hidráulica. O núcleo e a fundação, por ser monolítico, deverá ser composto pelos solos areno-argiloso a argiloso de baixa a média plasticidade (SC-CL) proveniente da área de empréstimo AE-6, também identificada na área da bacia hidráulica. O material para o trecho de jusante deverá ser de cascalho siltsos com misturas de areias e argilas (GM), proveniente dos empréstimos AE-1 e AE-2, identificado a montante do eixo. Caso não haja material disponível em quantidade suficiente para o paramento de jusante, este poderá ser complementado com cascalho siltoso proveniente das capas dos empréstimos quando das escavações, sendo este classificado como bom material sob o aspecto de resistência mecânica; ou ainda com material de peso *random*, desde que obedecidas as especificações técnicas mínimas exigidas.

A drenagem interna do maciço deverá ser executada a jusante do núcleo onde foi projetado um filtro vertical cujo topo se encontra à cota 97,00 m com espessura de um metro, ligado posteriormente a um tapete drenante horizontal de mesma espessura, compostos de areia bem graduada (SW) proveniente das jazidas de areia identificadas a montante do eixo nos riachos dos Macacos e Sororó.



Seção tipo da barragem Cruxati

No final do paramento de jusante deverá ser executado um dreno de pé de enrocamento do tipo *rock-fill* para escoar a água da drenagem interna. No contacto deste dreno com o tapete drenante deverá ser executada uma camada de transição. A figura acima mostra a seção tipo proposta com suas cotas e dimensões de projeto.

Estabilidade de taludes - Define-se o fator de segurança FS de um talude ao deslizamento como sendo a razão entre as forças resistentes ao deslizamento (F_r) e as forças de desestabilização (F_d) para o caso mais crítico. Faz-se necessário, portanto, escolher um método que seja capaz de quantificar: (i) as forças resistentes ao deslizamento; (ii) as forças desestabilizadoras; e (iii) a superfície de deslizamento mais crítica. Neste projeto utilizou-se o método sueco, também denominado método das fatias: as superfícies de ruptura são arcos de circunferência; as forças resistente e desestabilizadora são a soma destas forças em cada fatia (sub-domínio discretizado); e a análise da superfície crítica é feita variando-se o centro da circunferência representativa da superfície de ruptura.

A força resistente é a soma da força de atrito F_τ com a força coesiva F_c , como segue:

$$F_r = \sum F_\tau + \sum F_c; \quad F_\tau = N' \cdot \text{tg}(\varphi') \quad \text{e} \quad F_c = c \cdot L \cdot b$$

sendo φ' o ângulo de atrito interno do solo onde se dá a superfície de ruptura, "c" a coesão do solo, "L" o comprimento da linha de ruptura, "b" a espessura de solo (geralmente admitida como 1 m) e N' a força normal efetiva, dada por

$$N' = W \cdot \cos(\alpha) - p' \cdot L \cdot b$$

sendo W a força peso, α o ângulo entre a normal da superfície e a vertical e p' a poro-pressão atuante sobre a superfície de ruptura. A força desestabilizadora é dada por

$$F_d = \sum W \cdot \text{sen}(\alpha).$$

A análise da estabilidade foi feita para quatro situações. O talude de montante foi avaliado para as situações de fim de construção, reservatório cheio e rebaixamento rápido. O talude de jusante foi avaliado para situação com reservatório cheio com filtro parcialmente operante. As tabelas abaixo

demonstram os principais parâmetros de resistência dos solos (fornecidos por avaliação preliminar realizada nos estudos geotécnicos) e as forças calculadas em cada situação.

Tabela - parâmetros de resistência dos solos

Solo	c (Kgf/cm ²)	φ' (°)
areia fina siltosa (SM)	0,02	30
areia argilosa-argila (SC-CL)	0.05	28
areia bem graduada (SW)	0	32
enrocamento (<i>rock fill</i>)	0	36
<i>random</i>	0,02	30

Pode-se concluir, da tabela apresentada, que os taludes propostos são estáveis, sendo o talude de montante em situação de rebaixamento rápido a situação com menor fator de segurança, o que é esperado. Ainda assim o valor de FS é satisfatório, devendo a seção-tipo permanecer como proposta.

Tabela - composição de forças no cálculo da estabilidade (Kgf/m)

Situação	ΣFr	ΣFc	Fr	Fd	FS
montante, fim de construção	136.794	7470	144.264	89.010	1,62
montante, reservatório cheio	76.484	8121	84.605	66.357	1,27
montante, rebaix. rápido	99.697	7570	107.267	92.770	1,16
jusante, reservatório cheio	74.129	4840	78.969	65.810	1,20

Recomenda-se, para a elaboração do projeto executivo da barragem Cruxati ensaios, em laboratório, dos solos que compõem a seção-tipo, para que os parâmetros de resistência sejam mais realisticamente determinados e, portanto, que o fator de segurança seja melhor avaliado.

3.2.4. SANGRADOURO

O sangradouro deverá ser implantado na ombreira esquerda entre as estacas E-54 e E-59 onde a rocha de fundação pode ser encontrada a um metro de profundidade. O canal de aproximação, com 120 m de comprimento, será escavado em rocha à cota 93,50 m. Este canal apresenta ligeira curvatura, orientando o fluxo no sentido transversal do vertedor, cuja soleira deverá estar à cota 95,00 m, ser do tipo Creager e limitado por dois muros de contenção lateral. Para a construção desta soleira deve-se proceder como especificado em USBR (1971) devendo a estrutura (perfil Creager e muros laterais) estar assentada sobre rocha resistente. A água deverá, então, escoar para o canal de fuga, na cota 93,00 m que apresenta ligeira curvatura horizontal para a direita, lançando a água vertida em um talvegue distante 100 m do eixo do vertedor. Ao cair no talvegue a água escoar até o rio Sororó a jusante da barragem, sem perigo de danos ao maciço. Esta solução apresenta, além da economia, segurança e a vantagem de apresentar baixos impactos sócio-ambientais, como constatado após comparação com outras quatro possíveis soluções (ver estudo de viabilidade).

A soleira do perfil Creager deve estar à cota 95,0 m; o canal de aproximação deve se localizar à cota 93,5 m; e o canal de fuga à cota 93,0 m. Com isto o paramento de montante do vertedor (P) será igual a 1,5 m e o de jusante 2,0 m, reduzindo-se o risco de inundação da crista, o que causaria redução na eficiência hidráulica. Segundo USBR⁸ vertedores Creager com paramento vertical, com razão $P/H_0 \cong 0,75$ e sem condição de afogamento apresentam coeficiente de crista $C_0 = 2,13 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$. Daí, a curva-chave do vertedor pode ser descrita por

$$Q (\text{m}^3/\text{s}) = 2,13 \cdot L (\text{m}) \cdot H_0^{3/2} (\text{m}); \quad L = 100 \text{ m.}$$

⁸U.S. Bureau of Reclamation. "Design of Small Dams", Washington, 1971, p. 375 - 381.

Os estudos hidrológicos indicam que, para período de retorno de 1000 anos e após efeito de laminação do reservatório, a vazão efluente deverá ser de 442 m³/s. Aplicando-se a equação acima pode-se concluir que a lâmina de projeto será de aproximadamente 1,65 m.

3.2.5. TOMADA D'ÁGUA

Para o dimensionamento da tomada d'água admite-se cota da geratriz superior correspondente a 10 % do volume máximo de acumulação ($V_{\text{máx}} = 16 \text{ hm}^3$). Ou seja, a geratriz superior do tubo deve se situar à cota 87,50 m, correspondente à acumulação de cerca de 1,6 hm³, e seu eixo deve se situar à cota 87,30 m. Considerando-se a variável geotécnica, verifica-se boa capacidade de suporte com baixo volume de corte na estaca E-10, na ombreira direita, onde deve ser assentada a tubulação. O dimensionamento hidráulico indica que a tubulação deve ser de ferro fundido com 400 mm de diâmetro.

A metodologia utilizada para o dimensionamento hidráulico da tubulação consta de três passos fundamentais: (i) determinação de uma vazão de referência, aqui utilizada a vazão regularizável com 90% de garantia Q_{90} ; (ii) dimensionamento hidráulico do tubo, com base nas equações de Hazen-Williams e de Darcy-Weisbach (fórmula universal de perda de carga) admitindo-se que, quando o armazenamento do reservatório estiver em somente 25% de sua capacidade máxima, o conduto deve aduzir a vazão majorada $Q_{\text{maj}} \geq K_1.K_2.Q_{90}$ ($K_1, K_2 > 1,0$); e (iii) verificação do dimensionamento para o caso em que o lago tenha 15% de sua capacidade, quando deverá aduzir a vazão minorada $Q_{\text{min}} \geq K_3.Q_{90}$ ($K_3 < 1,0$).

A vazão regularizável é determinada nos estudos hidrológicos. Para utilização do Diagrama Triangular de Regularização de Campos (1996)⁹ na estimativa de Q_{90} é necessário caracterizar os parâmetros adimensionais coeficiente de variação (C_v), fator de forma (f_K) e fator de evaporação (f_E). Os dados do sítio barrável indicam que $C_v \cong 1,2$; $f_K = 0,4$ e $f_E = 0,2$ e, portanto, $Q_{90} \cong 165 \text{ l/s}$.

⁹ Campos, J.N.B., "Dimensionamento de Reservatórios - O Método do Diagrama Triangular de Regularização", Ed. UFC, Fortaleza, 1996.

Acumulação de 25% da capacidade máxima corresponde a um volume de 4 hm³, que é atingido quando o nível do reservatório está à cota 90,0 m. Como a cota de saída é de 87,50 m, dispõe-se de energia de 2,50 m para ser “perdida” no escoamento. O comprimento físico do tubo é de 60,0 m. As perdas localizadas (caixa de entrada, dois registros e caixa de saída) são descritas em termos de comprimento equivalente utilizando-se de tabelas contidas em Azevedo Netto (1973)¹⁰. Os fatores de majoração admitidos provêm de dados do saneamento básico, em que K₁ = 1,2 e K₂ = 1,5. Assim, a vazão majorada é de cerca de 300 l/s. A equação de Hazen-Williams indica que

$$Q = 0,355 * C * A * D^{0,63} * J^{0,54}$$

sendo Q a vazão escoada (m³/s), C um parâmetro, A a área da seção transversal (m²), D o diâmetro (m), J a perda de carga unitária $J = \Delta h/L'$ e L' o comprimento virtual, ou seja, a soma do comprimento físico do tubo com os comprimentos equivalentes às perdas localizadas. Para tubos de ferro fundido com cerca de 30 anos de uso, C = 90. A fórmula universal de perda de carga é expressa

$$J = f * (1/D) * (U^2/2g)$$

¹⁰ Azevedo Netto, J. M. de e Álvarez, G., “Manual de Hidráulica”, vol.1, Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1973.

sendo f o fator de atrito, função da rugosidade relativa e do número de Reynolds do escoamento (varia, aqui, entre 0,040 e 0,055) e U a velocidade média do escoamento. A tabela abaixo apresenta os valores do dimensionamento da tubulação, sendo o índice "c" referente a valores calculados. Os resultados indicam que uma tubulação ideal teria diâmetro entre 0,300 m e 0,400 m. Adota-se, então, $D = 400$ mm.

D(m)	Jc(m/m)	Lc'(m)	$\Delta hc(m)$
0,300	0,060	78,2	4,69
0,400	0,014	80,1	1,15
0,500	0,008	82,5	0,66

Para se proceder a verificação mencionada no item (iii) admite-se fator de minoração $K_3 = 0,80$, isto é, ao acumular somente 15% de sua capacidade, a tomada d'água deve ser capaz de aduzir 80% da vazão de referência. Como $Q_{90} = 165$ l/s, $Q \geq 132$ l/s. Para reservação de 15% ($V = 2,4$ hm³) a cota do nível d'água é de 88,0 m ($\Delta h = 0,50$ m), $L' = 80,1$ m e, portanto, $Q = 141$ l/s, o que verifica o dimensionamento adotado.

3.3. QUANTITATIVOS E CUSTOS

Os quantitativos referentes ao maciço da barragem Cruxati são apresentados a seguir na forma de tabelas. Foram calculados três valores parciais, considerando-se que o maciço não se comporta homogeneamente. Os materiais utilizados nos cálculos foram rip-rap, material de jusante (SM), material do núcleo e da fundação (SC-CL), filtro (SW), material de jusante (random), transição e rock-fill. O volume total do maciço foi estimado em 318.488 m³, como é mostrado no quadro resumo.

Tabela – volumes do trecho E-10 a E-29

	E-10 a E-29	vol. trecho =	209672
<i>material</i>	<i>peso</i>	<i>razão</i>	<i>volume (m3)</i>
rip-rap	36,8	0,070	14580
SM	222,0	0,420	87958
SC-CL	58,2	0,110	23059
SW	37,4	0,071	14818
random	167,5	0,317	66365
transição	1,5	0,003	594
rock-fill	5,8	0,011	2298
soma =	529,2	1,000	

Tabela – volumes do trecho E-30 a E-54 mais E-1+6m a E-9

	OD+E-29aE54	vol. trecho =	102179
<i>material</i>	<i>peso</i>	<i>razão</i>	<i>volume (m3)</i>
rip-rap	18,5	0,102	10432
SM	62,0	0,342	34962
SC-CL	38,1	0,210	21485
SW	17,0	0,094	9586
random	44,9	0,248	25319
transição	0,7	0,004	395
rock-fill	0,0	0,000	0
soma =	181,2	1,000	

Tabela – volumes do trecho da ombreira esquerda (E-59 a E-74 + 5m)

	E-59 a OE	vol. trecho =	6637
material	peso	razão	volume (m3)
rip-rap	5,0	0,180	1194
SM	7,2	0,259	1719
SC-CL	8,5	0,306	2029
SW	4,5	0,162	1074
random	2,0	0,072	478
transição	0,6	0,022	143
rock-fill	0,0	0,000	0
soma =	27,8	1,000	

Tabela – quadro resumo

material	volume (m3)
rip-rap	26206
SM	124639
SC-CL	46573
SW	25479
random	92161
transição	1132
rock-fill	2298
soma =	318488

Tabela - Composição do volume total

Trecho 1									
estaca	x (m)	cota (m)	h (m)	A (m ²)	V (m ³)	h fund (m)	A fund (m ²)	V fund (m ³)	
5	74	92,35	5,90	110,2	9586	1,1	4,1	206	
10	174	88,03	10,22	290,2	17412	1,2	4,7	282	
11	194	87,47	10,78	319,7	6394	1,5	6,6	131	
12	214	85,53	12,72	432,7	8655	2,6	14,9	298	
13	234	85,26	12,99	449,8	8996	2,5	14,1	281	
14	254	85,90	12,35	409,9	12296	2,2	11,6	348	
16	294	85,30	12,95	447,3	17890	1,2	4,7	188	
18	334	81,85	16,40	693,7	27749	2,5	14,1	563	
20	374	83,64	14,61	559,2	61508	1,4	5,9	651	
29	554	85,77	12,48	417,8	45961	0,4	0,6	68	
31	594	84,62	13,63	491,6	54076	0,6	1,5	167	
40	774	91,38	6,87	143,3	20061	1,2	4,7	658	
45	874	92,57	5,68	103,3	12391	1,3	5,3	636	
52	1014	95,25	3,00	36,5	3281	1,1	4,1	371	
54	1054	95,37	2,88	34,2	684	0,9	3,0	60	
				soma =	306940			4911	
Trecho 2									
estaca	x (m)	cota (m)	h (m)	A (m ²)	V (m ³)	h fund (m)	A fund (m ²)	V fund (m ³)	
59	0	95,31	2,94	35,3	706	1,1	4,1	82	
61	40	95,28	2,97	35,9	1794	1,1	4,1	206	
64	100	95,77	2,48	27,2	1362	1,0	3,6	178	
66	140	96,00	2,25	23,5	942	1,0	3,6	143	
68	180	97,00	1,25	10,3	821	0,9	3,0	242	
74	300	98,00	0,25	1,5	149	0,3	0,2	12	
				soma =	5774			863	
								Vol. total = 318488	

Estimativa de Custo de Execução da Barragem Sororo

Itens	Discriminação dos Serviços	Ud.	Quantidade	Custo R\$ Unitário	Custo R\$ Total
1.0	Administração e Fiscalização.				
1.1	Instalação e manutenção do canteiro de obras.	ud	1,00		
1.2	Mobilização	ud	1,00		
1.3	Divulgação	ud	1,00		
2.0	Trabalhos Preparatórios.				
2.1	Caminhos de serviços com faixa de 6,00m de largura, para acesso as obras e empréstimos.	km	3,5		
2.2	Desmatamento e destocamento tipo regular, compreendendo derrubada, arranca, queima, enleiramento e requeima nos locais da barragem, sangradouro e empréstimos.	ha	32		
2.3	Expurgo de material (remoção da camada vegetal), nas áreas de implantação da barragem, sangradouro e empréstimos, com bota-fora de até 300m, medido no corte.	m ³	34000		
2.4	Desmatamento da bacia hidráulica	ha	250		
3.0	Barragem				
3.1	<i>Fundação</i>				
3.1.1	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 1- categoria, com bota-fora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	8584		

3.1.2	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 2- categoria, com botafora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	1600
3.1.3	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 3- categoria, com botafora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	546
3.1.4	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 1- categoria, com rebaixamento de lençol freático e botafora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	0
3.2	<i>Maciço</i>		
3.2.1	Escavação, carga, descarga e transporte de até 300m de material de 1- categoria, utilizando-se caminhão basculante (maciço + fundação)	m ³	271800
3.2.2	Espalhamento, expurgo, umedecimento, homogeneização e compactação de solos selecionados para o maciço e fundação.	m ³	263300
3.2.3	Preparação e regularização de taludes.	m ²	13200
3.2.4	Escavação, carga, descarga e transporte de até 300m de areia, utilizando-se caminhão basculante (filtros).	m ³	28100
3.2.5	Espalhamento, expurgo, umedecimento e adensamento de areia (filtros).	m ³	25480
3.2.6	Escavação, carga, descarga e transporte de até 300m de material de 3- categoria, utilizando-se caminhão basculante para enrocamentos (rock-fill e rip-rap).	m ³	28500
3.2.7	Espalhamento mecânico e arrumação manual na execução dos enrocamentos (rock-fill e rip-rap).	m ³	28500
3.2.8	Transporte complementar de material de 1- categoria, utilizando-se caminhão basculante.	m ³ .km	447600
3.2.9	Transporte complementar de material de 2- categoria, utilizando-se caminhão basculante.	m ³ .km	0

3.2.10	Transporte complementar de material de 3- categoria, utilizando-se caminhão basculante.	m ³ .km	0
3.2.11	Transporte complementar de areia utilizando-se caminhão basculante.	m ³ .km	19900
3.2.12	Revestimento do coroamento com cascalho ou pedrisco com e=0,30m, inclusive fornecimento e execução, medido no aterro.	m ³	2940
3.2.13	Meio-fio de concreto.	m	2690
3.2.14	Rápido de descida de concreto no talude de jusante.	m	450
3.2.15	Plantio de grama ou plantas regionais (salsa, macambira, etc).	m ²	12600

4.0 Sangradouro

4.1 Escavação

4.1.1	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 1- categoria, com bota-fora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	11500
4.1.2	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 2- categoria, com bota-fora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	5200
4.1.3	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 3- categoria, com bota-fora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	6300

4.2 Concreto

4.2.1	Concreto ciclópico com 12% de pedra de mão para perfil Creager e muros de ligação.	m ³	490
4.2.2	Junta Fugenband tipo 0-22, fornecimento e montagem.	m	98

5.0 Tomada d'água

5.1 Escavação

5.1.1	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 1- categoria, com bota-fora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	112
5.1.2	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 2- categoria, com bota-fora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	35
5.1.3	Escavação, carga, transporte e descarga de material de 3- categoria, com bota-fora de até 300m, utilizando-se caminhão basculante.	m ³	12

5.2 Concreto

5.2.1	Concreto armado com fck de 150 kg/cm ² com forma e ferragem CA-50A para estruturas da caixa de entrada, galeria e bacia de dissipação.	m ³	115
5.2.2	Concreto ciclópico para regularização com até 30% de pedra de mão.	m ³	8
5.2.3	Junta Fugenband tipo 0-22, fornecimento e montagem	m	15

5.3 Equipamento hidráulico/mecânico

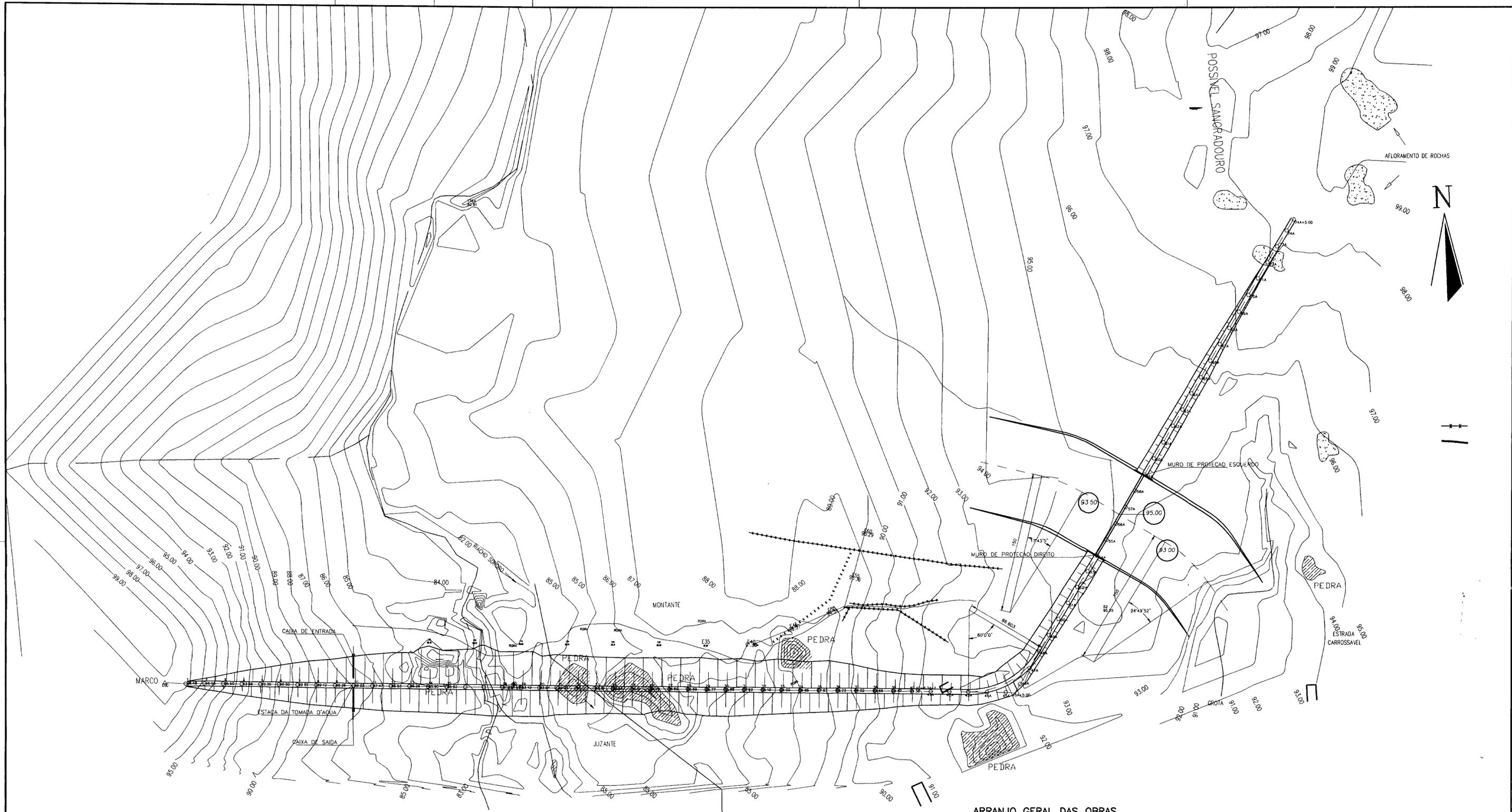
5.3.1	Tubo de ferro fundido de DN 400mm e e=3/8".	m	60
5.3.2	Registro de gaveta de DN 400 mm.	ud	2
5.3.3	Grade de aço para proteção do sistema.	ud	1
5.3.4	Mastique plasto-elástico IGASp 74 para proteção interna da galeria	m ²	76

6.0 Supervisão e acompanhamento

6.1	Supervisão e acompanhamento na construção das obras (3% do valor Global)	ud	1
-----	--	----	---

R&M

PLANTAS



ARRANJO GERAL DAS OBRAS
ESCALA - 1/2000

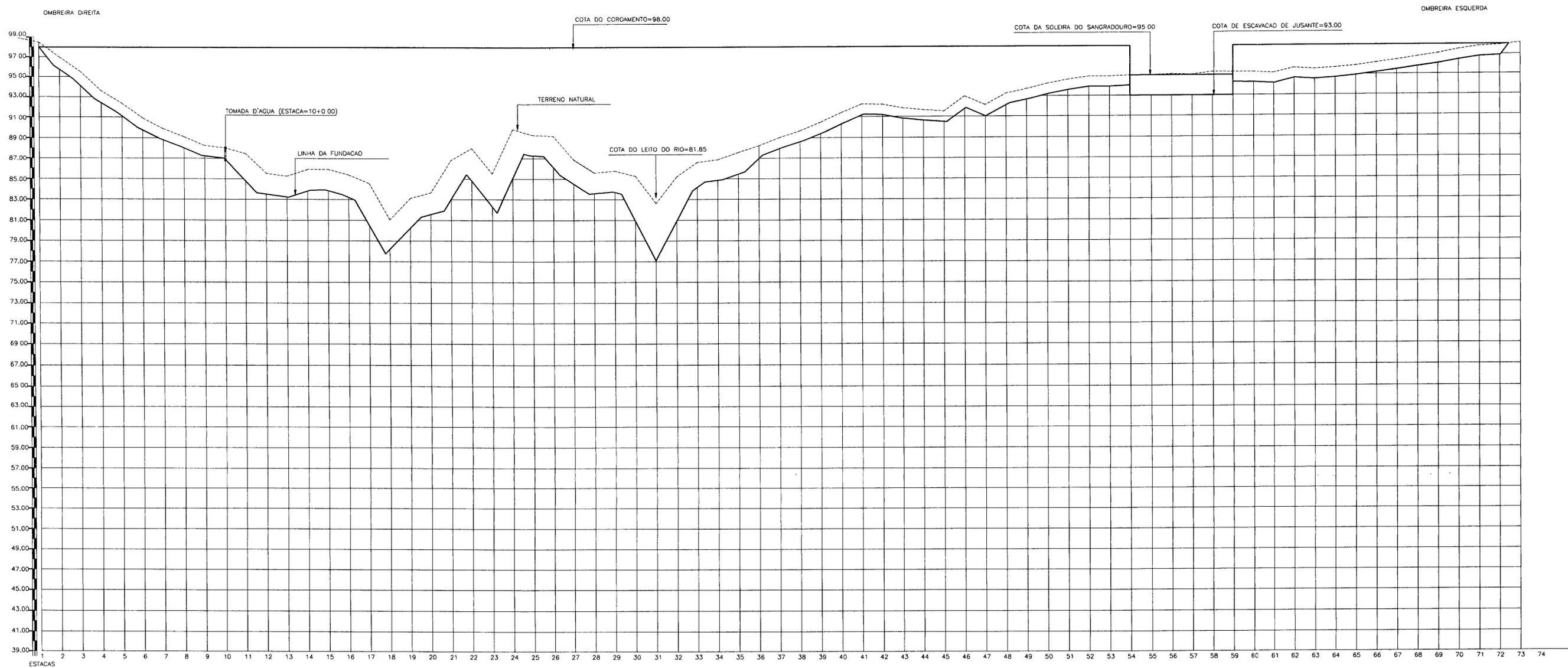


000068

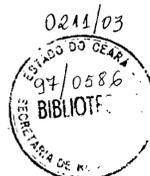
<p>LEGENDA</p>	<p>NOTAS :</p>	<p>DESENHOS DE REFERENCIA :</p>
----------------	----------------	---------------------------------

REVISÕES			
Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROVO

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ	
SUPERINTENDENCIA DE OBRAS HÍDRICAS-SOHIDRA SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS-SRH	
ESTUDO DE APROVEITAMENTO HÍDRICO DA BACIA DO RIO CRUXATI	
BARRAGEM SORORO	
Projeto : Vista : Verificado : Aprova :	<p style="text-align: center;">ARRANJO GERAL DAS OBRAS</p> <p>R&M M - Planejamento e Consultoria LTDA.</p>
<p>Desenho : SOROTA DWG</p> <p>Data de Emissão : DEZ /97</p> <p>Escala : 1/2000</p> <p>Nº do Desenho : 01/05</p>	<p>Rev. :</p>



PERFIL LONGITUDINAL DA BARRAGEM
 ESCALAS H=1/2000 V=1/200



000069

LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERENCIA :

REVISOES			
Nº	NATUREZA DA REVISAO	DATA	APROVO

GOVERNO DO ESTADO DO CEARA
 SUPERINTENDENCIA DE OBRAS HIDRICAS-SOHIDRA
 SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS-SRH

ESTUDO DE APROVEITAMENTO HIDRICO DA BACIA DO RIO CRUXATI

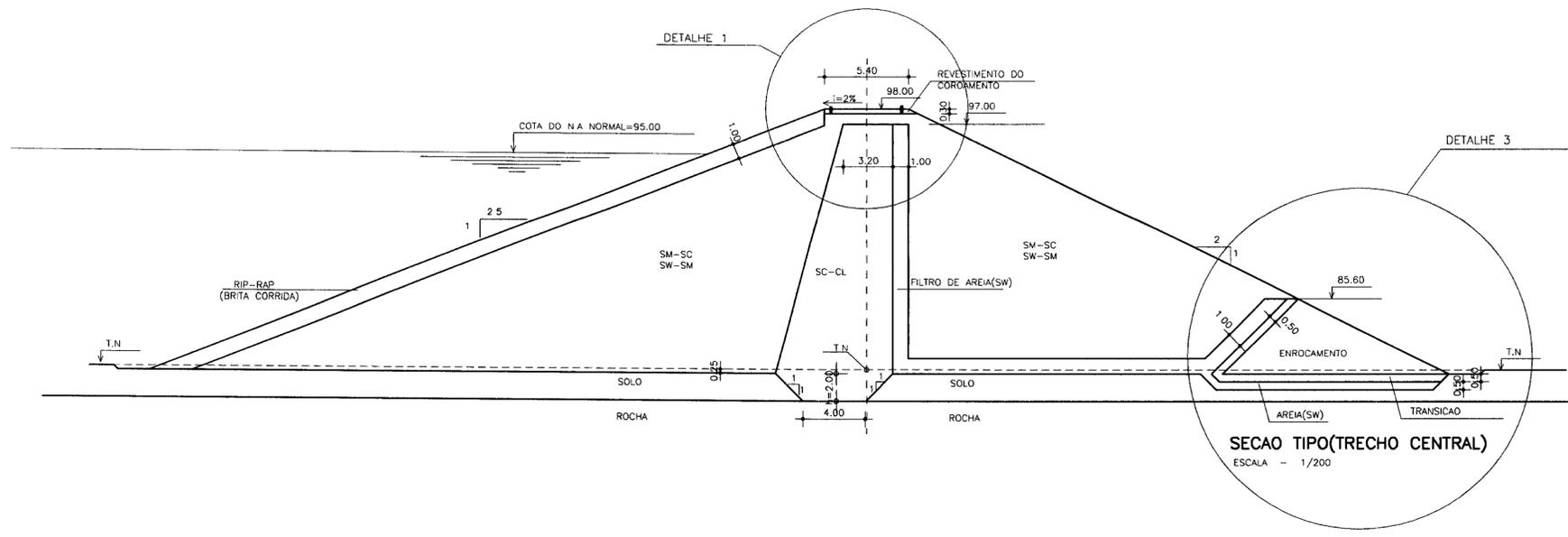
BARRAGEM SORORO

Projeto :
 Visto :
 Verificado :
 Aprove :

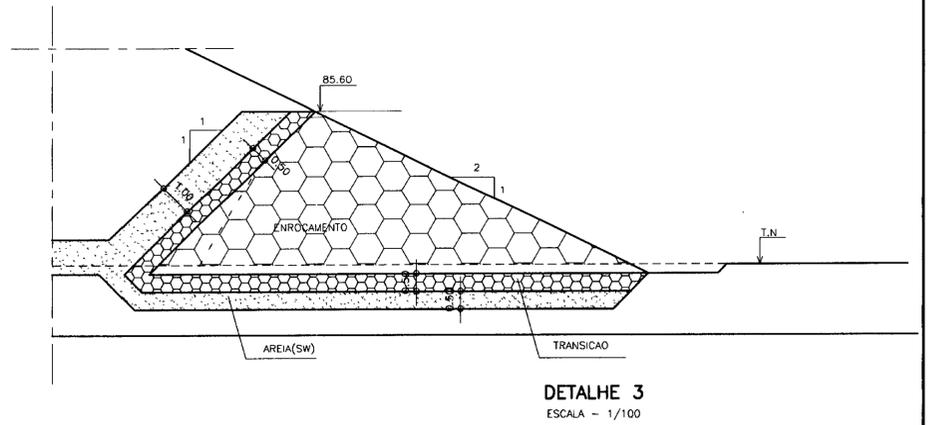
PERFIL LONGITUDINAL DA BARRAGEM

Desenho :
 Data de Emissao :
 Escala :
 Nº do Desenho :
 Rev. :

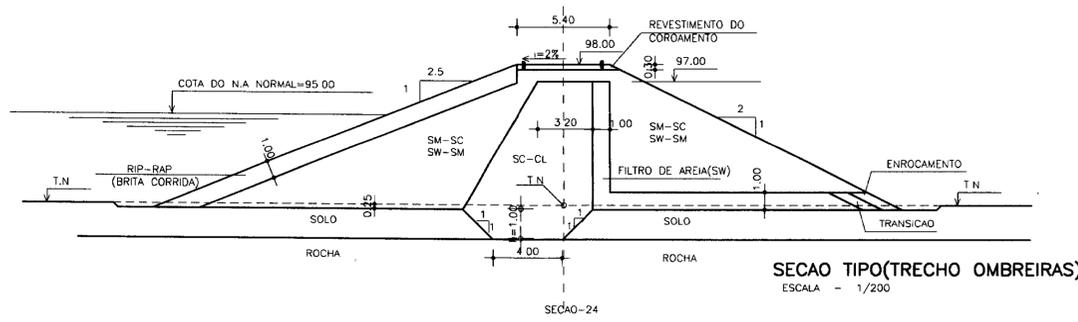
R&M M - Planejamento e Consultoria LTDA. 02/05



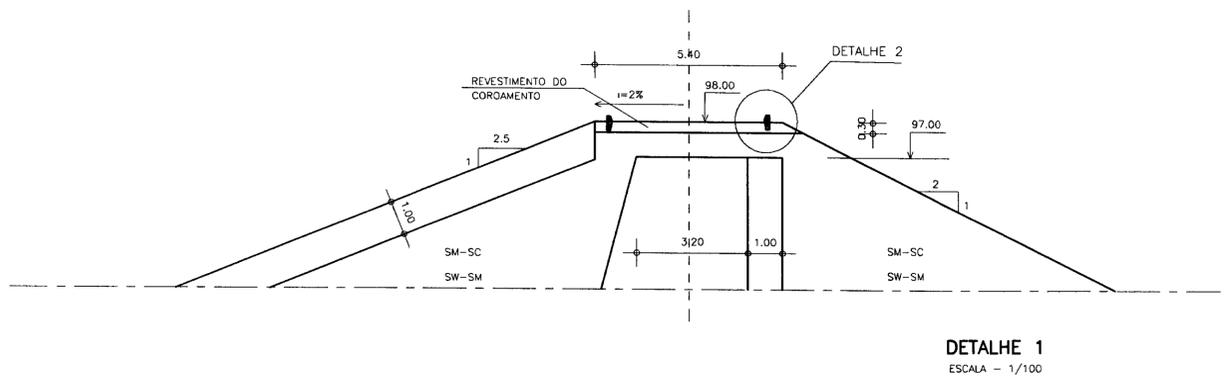
SECAO TIPO (TRECHO CENTRAL)
ESCALA - 1/200



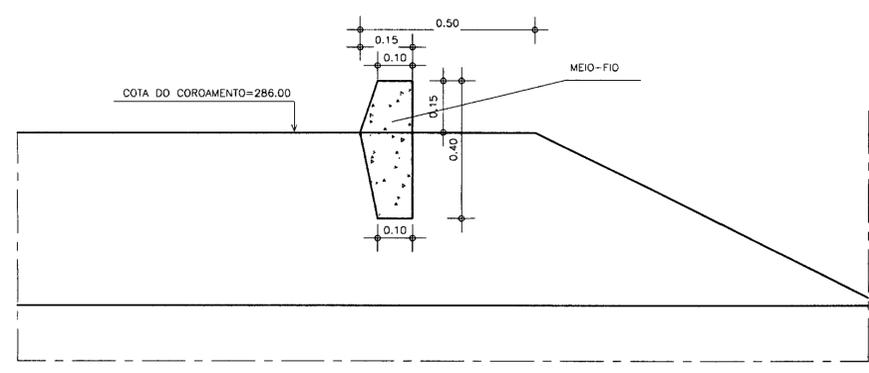
DETALHE 3
ESCALA - 1/100



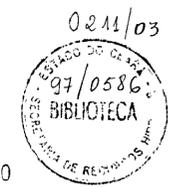
SECAO TIPO (TRECHO OMBREIRAS)
ESCALA - 1/200



DETALHE 1
ESCALA - 1/100

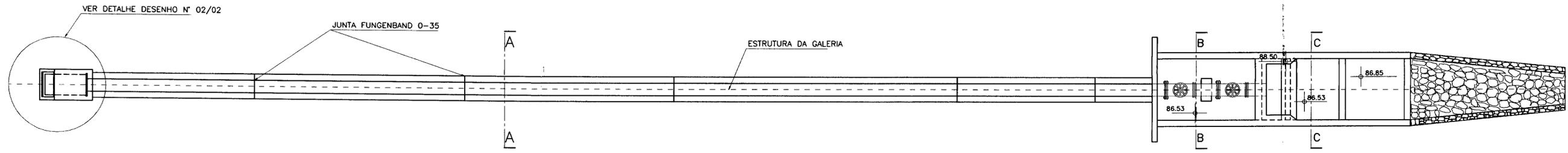


DETALHE - 2
ESCALA - 1/10

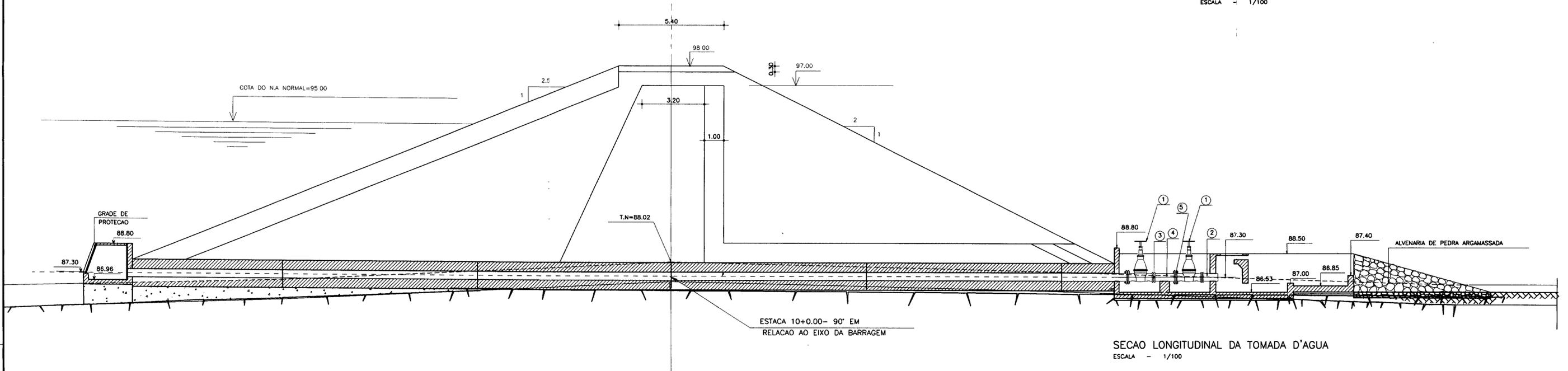


000070

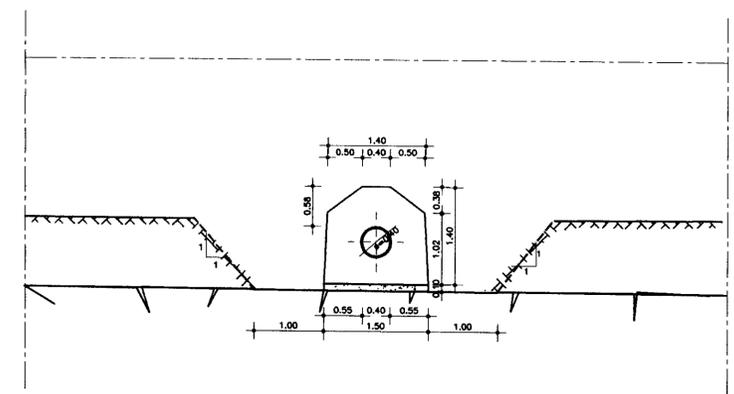
LEGENDA :	NOTAS :	DESENHOS DE REFERENCIA :	REVISOES				GOVERNO DO ESTADO DO CEARA SUPERINTENDENCIA DE OBRAS HIDRICAS-SOHIDRA SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS-SRH ESTUDO DE APROVEITAMENTO HIDRICO DA BACIA DO RIO CRUXATI BARRAGEM SORORO		
			Nº	NATUREZA DA REVISAO	DATA	APROVO	Projeto :	SECOES TIPO E DETALHES	
						Desenho :	SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS		
						Data de Emissao :	DEZ./97		
						Verificado :	INDICADA		
						Aprva :	R&M M - Planejamento e Consultoria LTDA. 03/05		



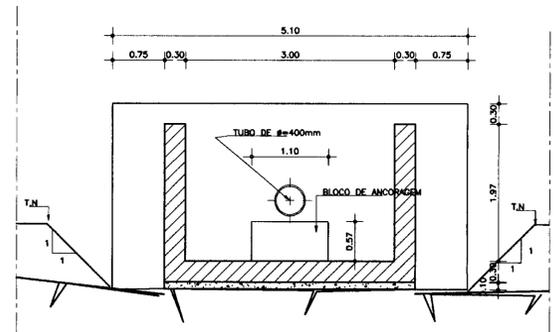
PLANTA BAIXA DA TOMADA D'AGUA
ESCALA - 1/100



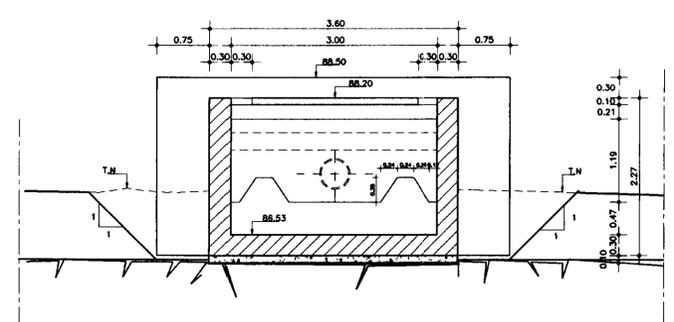
SECAO LONGITUDINAL DA TOMADA D'AGUA
ESCALA - 1/100



CORTE-AA
ESCALA - 1/50



CORTE-BB
ESCALA - 1/50



CORTE-CC
ESCALA - 1/50

LEGENDA :

- 1 REGISTRO DE GAVETA DN600mm
- 2 TOCO DN600mm
- 3 FLANGE AVULSO DN600mm
- 4 TE DE REDUCAO FOFO FLANGE/FLANGE DN600x200mm
- 5 JUNTA DE DESMONTAGEM TRAVADA AXIALMENTE
- 6 TUBO DN800mm
- 7 JUNTA FUNGENBAND 0-35

- CONCRETO ESTRUTURAL fck=15MPa
 - CONCRETO DE REGULARIZACAO
 - ALVENARIA DE PEDRA ARGAMASSADA

- ESCAVACAO EM ROCHA
 - ESCAVACAO EM SOLO

NOTAS :

- COTAS E DIMENSOES EM (m)

DESENHOS DE REFERENCIA :

REVISOES			
N°	NATUREZA DA REVISAO	DATA	APROVO

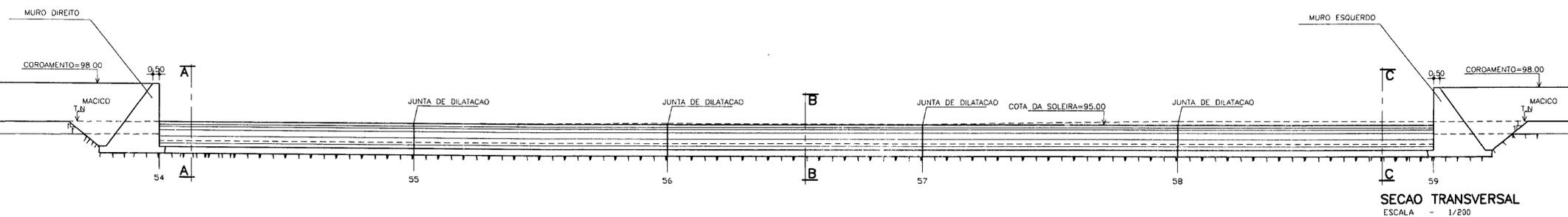
GOVERNO DO ESTADO DO CEARA
 SUPERINTENDENCIA DE OBRAS HIDRICAS-SOHIDRA
 SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS-SRH

ESTUDO DE APROVEITAMENTO HIDRICO DA BACIA DO RIO CRUXATI
 BARRAGEM SORORO

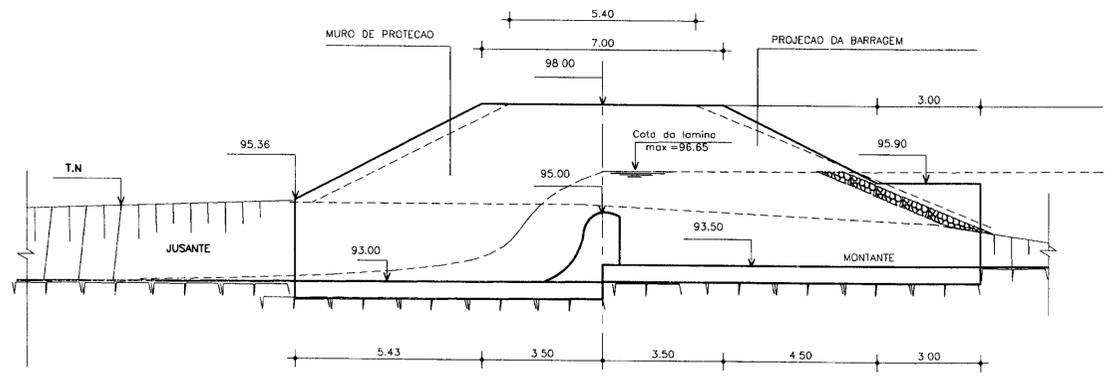
TOMADA D'AGUA

R&M M - Planejamento e Consultoria LTDA.

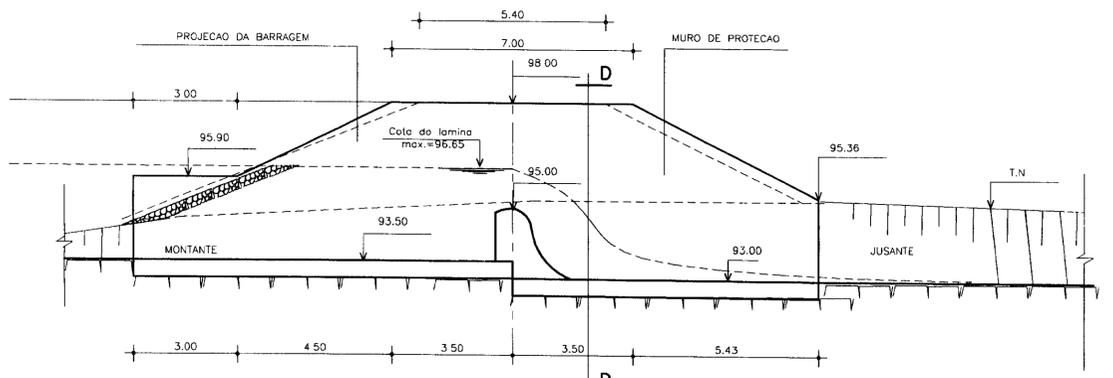
0211/03
 97/0586
 BIBLIOTECA
 000071



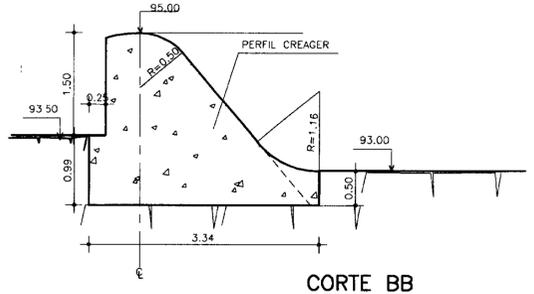
SECAO TRANSVERSAL
ESCALA - 1/200



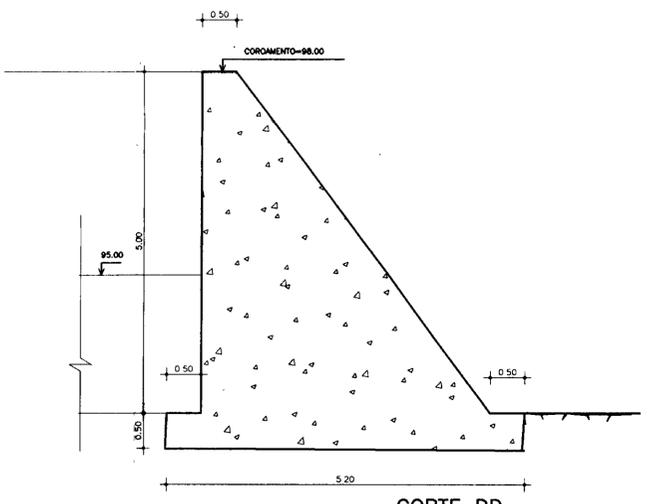
CORTE AA (MURO DIREITO)
ESCALA - 1/100



CORTE CC (MURO ESQUERDO)
ESCALA - 1/100



CORTE BB
ESCALA - 1/50



CORTE DD
ESCALA - 1/50



000672

LEGENDA :

NOTAS :

DESENHOS DE REFERENCIA :

REVISOES			
N°	NATUREZA DA REVISAO	DATA	APROVO

GOVERNO DO ESTADO DO CEARA			
SUPERINTENDENCIA DE OBRAS HIDRICAS-SOHIDRA			
SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS-SRH			
ESTUDO DE APROVEITAMENTO HIDRICO DA BACIA DO RIO CRUXATI			
BARRAGEM SORORO			
Projeto	SANGRADOURO		Desenho
Visto	SECAO TRANSVERSAL, CORTES DO PERFIL		MUR01C.DWG
Verificado	CREAGER E DOS MUROS		Data de Entrega
Aprova	R&M M - Planejamento e Consultoria LTDA.		DEZ./97
			INDICADA
			Rev. 05/05