



Julho de 2003

**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**



SRH Secretaria dos Recursos Hídricos

Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará - PROGERIRH

Contrato

Nº 02/ PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001

Estudos de Alternativas, EIAS/RIMAS, Projetos Executivos, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra / Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Adutoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada

BARRAGEM CEARÁ VOLUME I - ESTUDOS BÁSICOS Tomo 1 - Relatório Geral



MONTGOMERY WATSON





MONTGOMERY WATSON



ÍNDICE

**ÍNDICE**

	Páginas
ÍNDICE	1
1. INTRODUÇÃO	4
2. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS	7
2.1. <i>Trabalhos Cartográficos</i>	8
2.2. <i>Transporte de Coordenadas</i>	8
2.3. <i>Transporte de Cota</i>	10
2.4. <i>Levantamento do Eixo Barrável e Sangradouro</i>	10
2.4.1. <i>Locação dos eixos e Implantação de Marcos</i>	10
2.4.2. <i>Nivelamento</i>	11
2.4.3. <i>Levantamento de Seções Transversais</i>	12
2.4.4. <i>Levantamento Do Canal De Restituição</i>	12
2.5. <i>Levantamento Da Bacia Hidráulica</i>	13
2.5.1. <i>Trabalhos Executados</i>	13
2.5.2. <i>Cobertura Aerofotogramétrica</i>	14
2.5.3. <i>Apoio Básico</i>	16
2.5.3. <i>Aerotriangulação</i>	17
2.5.4. <i>Restituição Fotogramétrica</i>	17
2.5.5. <i>Produtos Entregue</i>	18
2.6. <i>Levantamento de Jazidas</i>	19
2.6.1. <i>Jazidas</i>	19
2.6.2. <i>Areais</i>	19
2.6.3. <i>Pedreira</i>	20
3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS	21
3.1. <i>Geologia Regional</i>	22
3.2. <i>Geologia Local</i>	27
3.3. <i>Levantamento Geológico de Superfície</i>	29
3.4. <i>Investigação do Barramento</i>	30
3.4.1. <i>Sondagens realizadas</i>	30
3.4.2. <i>Sondagens a Percussão</i>	35
3.4.3. <i>Sondagens Mistas</i>	36
3.4.4. <i>Ensaio de Campo</i>	37
3.4.5. <i>Comentários</i>	38
3.5. <i>Investigação do Sangradouro</i>	40



3.5.1. Sondagens Realizadas	40
3.5.2. Comentários	43
3.6. Estudo dos Materiais Construtivos	44
3.6.1. Jazida de Solos	47
3.6.2. Areal.....	63
3.6.3. Pedreira	64
3.6.4. Comentários	65
4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS.....	69
4.1. Introdução	70
4.2. Ficha Hidrológica e Curvas Cota x Área x Volume.....	70
4.3. Caracterização da Bacia Hidrográfica	73
4.4. Caracterização Climática.....	81
4.5. Estudo de Chuvas Intensas	93
4.6. Estudo De Deflúvios	94
4.7. Estudo das Cheias de Projeto	95
4.8. Dimensionamento do reservatório.....	99
4.9. Estudos Adicionais.....	101
5. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS	105



MONTGOMERY WATSON



1. INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

O consórcio **Montgomery- Watson/ Engesoft** (Consórcio) e a **Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará** (SRH-CE) celebraram o contrato nº 02/PROGERIRH-PILOTO/CE/SRH 2001, que tem como objetivo o Estudo de Alternativas, Eias/ Rimas, Levantamentos Cadastrais, Planos de Reassentamento e Avaliação Financeira e Econômica dos Projetos das Barragens João Guerra/ Umari, Riacho da Serra, Ceará e Missi, e dos Projetos das Aduadoras de Madalena, Lagoa do Mato, Alto Santo e Amontada.

A ordem de serviço foi emitida em 05 de março de 2001 e imediatamente as equipes do Consórcio iniciaram as atividades previstas no cronograma aprovado.

O presente relatório, denominado **Tomo 1 - Relatório Geral**, é parte integrante do **Volume 1- Estudos Básicos** e diz respeito à **Barragem Ceará**, a qual tem por finalidade a criação de um reservatório no rio do mesmo nome, integrante da bacia Metropolitana. No mapa da figura 1.1 é apresentado, no âmbito do estado, o local selecionado para localizar o barramento.

O Tomo 1 apresenta um relato sintético de todas as atividades desenvolvidas nos Estudos Básicos relativas aos estudos topográficos, cartográficos, geológicos, geotécnicos e hidrológicos desenvolvidos para subsidiar o projeto executivo da barragem **Ceará**.

O volume 1 – Estudos Básicos é composto dos seguintes tomos:

Tomo 1 – Relatório Geral

Tomo 2 – Estudos Hidrológicos

Tomo 3 – Estudos Cartográficos – Textos

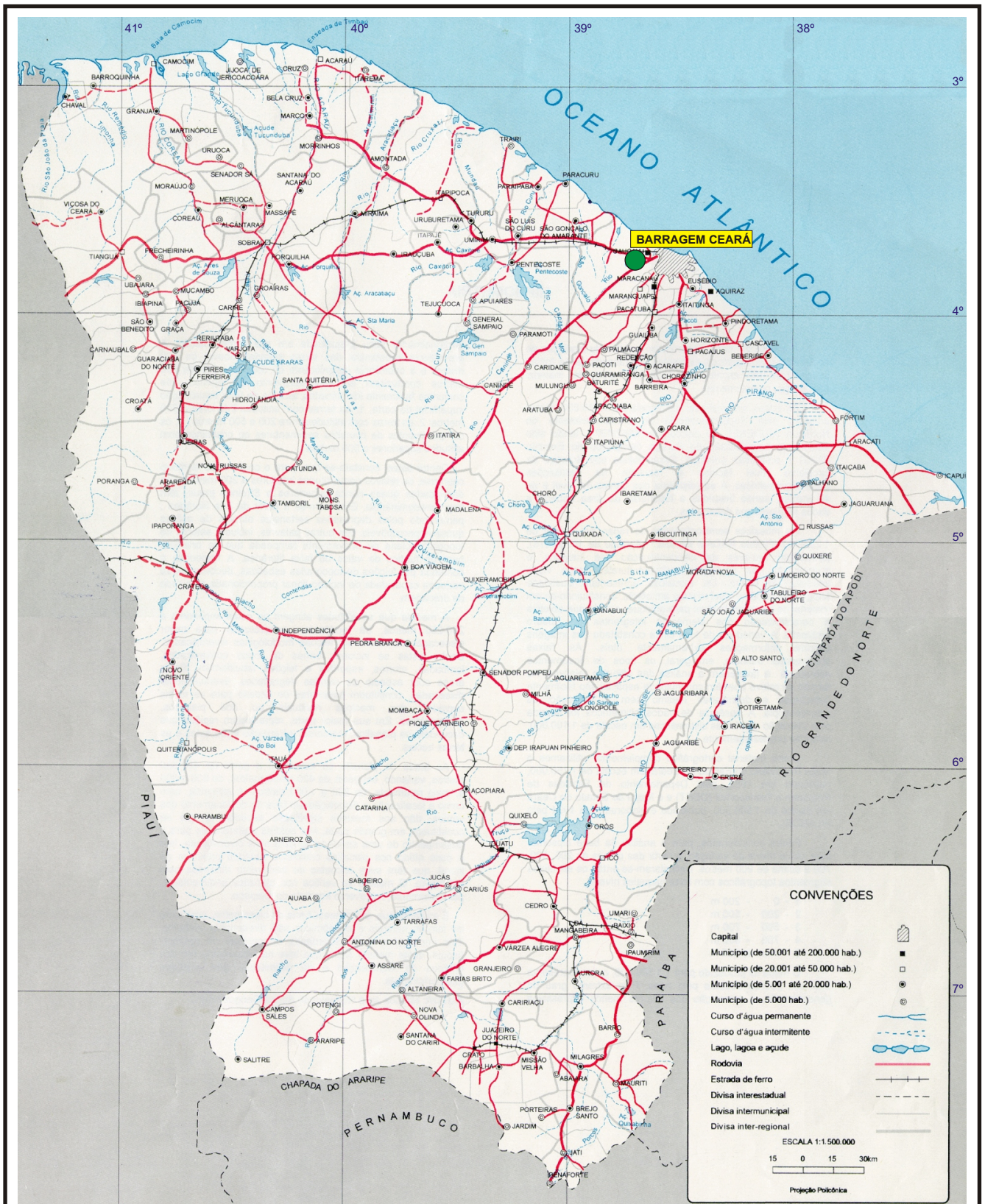
Tomo 3 A – Estudos Cartográficos – Desenhos

Tomo 3 B – Estudos Cartográficos – Memória de Cálculos

Tomo 3 C – Estudos Cartográficos – Cadernetas de Campo

Tomo 4 – Geologia e Geotecnia – Textos

Tomo 4 A – Geologia e Geotecnia – Anexos



Fonte: Atlas do Ceará - IPLANCE.

FIGURA - 1.1
MAPA DE LOCALIZAÇÃO E ACESSO



MONTGOMERY WATSON



2. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS



1. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

2.1. TRABALHOS CARTOGRÁFICOS

Os estudos cartográficos foram desenvolvidos basicamente a partir de cartas da SUDENE digitalizadas em escala 1:100.000 e com curvas de nível a cada 40 metros; sobre as quais foi definida a localização do barramento e delimitada a área da bacia hidrográfica, que totaliza 232,00 km², e que está apresentada na figura 2.1.

A carta topográfica utilizada foi:

- Fortaleza: nº SA-24-Z-C-IV

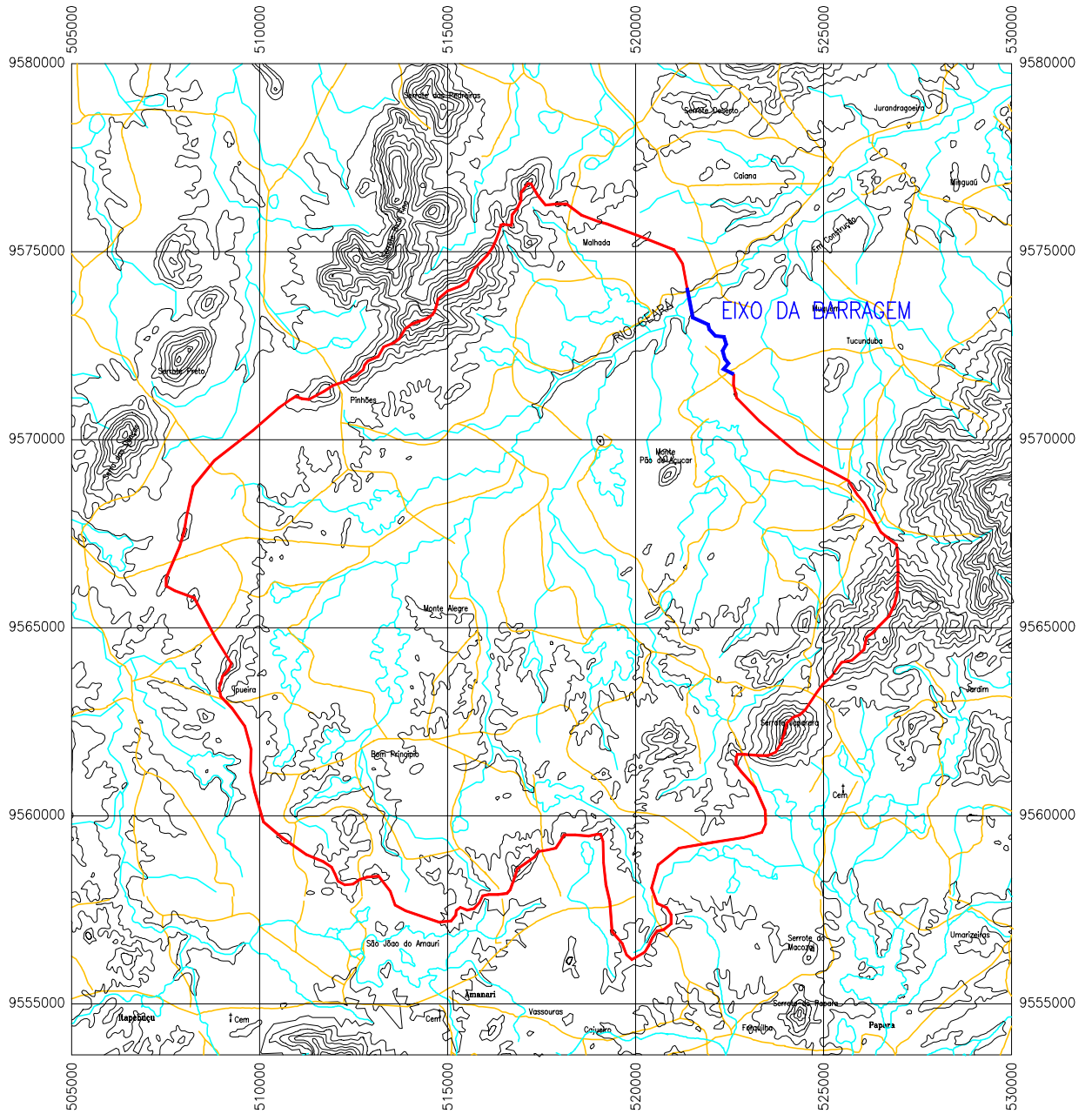
2.2. TRANSPORTE DE COORDENADAS

Adotando-se o sistema de levantamento com GPS (Sistema de Posicionamento Global), foram determinadas as coordenadas dos marcos M-1 na estaca 00 e M-2 na estaca 39+16,18, no eixo da barragem Ceará, a partir do *Datum* SAD-69. Estes pontos foram locados um em relação ao outro, usando o próprio GPS, para a verificação da precisão obtida.

O quadro a seguir apresenta as coordenadas UTM, dos pontos levantados.

Ponto	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
Marco M-1	00	521.372,618	9.574.031,525
Marco M-2	39+16,18	521.530,924	9.573.251,245

No **Tomo 3B** – *Estudos Cartográficos – Memória de Cálculo* encontram-se os cálculos realizados para o transporte de coordenadas.



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:175.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

2.1



2.3. TRANSPORTE DE COTA

O transporte de cota foi realizado por meio de topografia convencional, através de poligonais de nivelamento e contra-nivelamento, tendo sido utilizado para esse trabalho um nível WILD N-1.

Tomou-se como base a RN nº 1681 S do IBGE, situada no lado direito da ponte sobre o riacho Espiroá, na BR-020, 210 metros aquém do km-389 no sentido Caridade - Fortaleza, nas coordenadas N = 9.574,6 km e E = 524,53 km e cota 32,5946 m.

2.4. LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL E SANGRADOURO

O eixo da barragem Ceará foi locado em um boqueirão com características topográficas favoráveis, onde o sangradouro foi definido e estudado em um morrote situado na ombreira direita.

Para estancar fugas ao longo das ombreiras foi locado o eixo das barragens auxiliares BA-01 até BA-04, na ombreira direita, dando continuidade ao eixo da barragem principal. Na ombreira esquerda foi locado o eixo das barragens auxiliares BA-05 até BA-07, sem ligação com o eixo da barragem principal.

Os levantamentos topográficos dos eixos das barragens e sangradouro, foram executados através de processos convencionais constando dos seguintes serviços: locação; implantação de marcos para futura relocação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

2.4.1. Locação dos eixos e Implantação de Marcos

Utilizando-se uma Estação Total Nikon-420, locou-se os eixos das barragens e sangradouro, o qual foi materializado a cada 20 metros por pontos estaqueados e numerados, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis tais como: talvegues, estradas, afloramentos rochosos, rede elétrica, elevações, mudanças bruscas de inclinação do terreno entre outros.

O eixo das barragens auxiliares BA-05 a BA-07, teve sua estaca inicial (00A) localizada na elevação do lado esquerdo, de onde se partiu buscando uma melhor locação seguindo



o divisor de águas. Nas estacas 12A+7,33; 20A+9,68; 29A+18,47 e 50A+10,28 foram necessárias deflexões no eixo que foram materializadas com a implantação de marcos de concreto nas estacas 29A+18,47 e 50A+10,28 .O último ponto do eixo foi materilizado na estaca 60A+10,45, embora posteriormente tenha sido levantado mais 20m para alcançar a cota projetada para o barramento.

No eixo que comporta a barragem principal, sangradouro e barragens auxiliares BA-01 a BA-04 foi observado o mesmo propósito de uma locação através do divisor de águas. A estaca inicial, estaca 00, foi implantada na ombreira esquerda e após esta foram necessárias 10 deflexões no eixo, sendo 05 delas materializadas em campo através de marcos de concreto, até alcançar o ponto final na estaca 155+16,14. Esse eixo totaliza uma extensão de 3.116,14m.

O quadro a seguir apresenta a relação dos marcos implantados.

Marco	Estaca	Coordenadas UTM (m)	
		Este	Norte
M-1	00	521.372,618	9.574.031,525
M-2	39+16,18	521.530,924	9.573.251,245
M-3	62+10,33	521.943,266	9.573.060,895
M-4	68+14,23	521.965,769	9.572.939,059
M-5	80+15,89	522.129,560	9.572.761,368
M-6	29A+18,47	521.472,605	9.572.098,374
M-7	50A+10,28	521.695,405	9.574.752,036

O desenho I-3A-02/12-000 no **Tomo 3A**, apresenta a planta baixa com o eixo locado, e a caderneta de locação encontra-se no *Tomo 3C – Estudos Cartográficos – Cadernetas de Campo*.

2.4.2. Nivelamento

O levantamento altimétrico da barragem Ceará, foi realizado utilizando-se um nível WILD N-1, onde foram niveladas todas as estacas do eixo materializado. A partir deste



levantamento, gerou-se o perfil longitudinal do terreno natural no eixo, o qual encontra-se apresentado no desenho I-3A-03/12-000, **Tomo 3A**.

No **Tomo 3C** – *Estudos Cartográficos – Cadernetas de Campo*, encontra-se a caderneta de nivelamento do eixo barrável e sangradouro.

2.4.3. Levantamento de Seções Transversais

Foram levantadas seções transversais ao eixo da barragem e sangradouro a cada 20 metros, com utilização de nível e mira. As seções abrangeram uma faixa de domínio de aproximadamente 150 metros de largura à montante e à jusante, na barragem principal e cerca de 50 m nas barragens auxiliares de baixa altura.

As seções se constituíram de pontos cotados a cada 20 metros, considerando também os pontos de destaque do relevo topográfico.

O desenho I-3A-02/12-000 no **Tomo 3A**, apresenta a planta baixa do eixo das barragens principal e auxiliares, além do sangradouro, com curvas de nível do terreno natural a cada metro, geradas a partir do levantamento topográfico. Já as cadernetas de seções transversais encontram-se no **Tomo 3C** – *Estudos Cartográficos – Cadernetas de Campo*.

2.4.4. Levantamento Do Canal De Restituição

O canal de restituição da barragem Ceará, foi levantado plani-altimetricamente através de processos topográficos convencionais, constando de: locação; nivelamento e levantamento de seções transversais.

a) Locação

Locou-se o canal de restituição utilizando-se uma Estação Total Nikon-420, o qual foi estaqueado e numerado a cada 50 metros, sendo também indicados através de estacas inteiras ou fracionadas todos os pontos notáveis do relevo.

A partir da estaca 75+10,00 do eixo da barragem/sangradouro, foi locada a poligonal do canal de restituição com 1.830,37 metros de extensão, acompanhando o talvegue à jusante que conduzirá o caudal de sangria até o rio Ceará, como pode ser observado no desenho I-3A-02/12-000, do **Tomo 3A**.



A caderneta de locação do canal de restituição, encontra-se no **Tomo 3C** - *Estudos Cartográficos - Cadernetas de Campo*.

b) Nivelamento e Seções Transversais

Utilizando-se um nível WILD N-1, realizou-se o levantamento altimétrico da poligonal do canal de restituição, através de seccionamento a cada 50 metros, com 100 metros de largura para cada lado, com pontos cotados a cada 20 metros. A partir desse levantamento foi elaborada uma planta baixa com curvas de nível do terreno natural a cada metro, que se encontra apresentada no **Tomo 3A**, desenho I-3A-02/12-000.

No **Tomo 3C** - *Estudos Cartográficos - Cadernetas de Campo*, do *Volume I - Estudos Básicos*, encontram-se as cadernetas de nivelamento e seções transversais da poligonal do canal de restituição

2.5. LEVANTAMENTO DA BACIA HIDRÁULICA

Para a execução dos serviços plani-altimétricos na área da bacia hidráulica da barragem Ceará, no município de Caucaia, o consórcio firmou contrato com a empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S.A., tendo como objetivo a execução de serviços de engenharia cartográfica, compreendendo cobertura aerofotogramétrica colorida na escala 1:15.000, totalizando 54 km² e mapas digitais na escala 1:5.000, da bacia hidráulica que totalizaram 40,38 km².

Os serviços foram desenvolvidos de acordo com as normas de aerolevantamentos vigentes.

2.5.1. Trabalhos Executados

Apresentamos abaixo a relação das fases dos trabalhos executados neste projeto:

- Cobertura Aerofotogramétrica;
- Apoio de campo;
- Aerotriangulação;



- Restituição digital em escala 1:5.000;
- Geração de arquivos magnéticos.

2.5.2. Cobertura Aerofotogramétrica

Após a concessão da autorização do ministério da defesa iniciaram-se os trabalhos da cobertura aerofotogramétrica os quais apresentamos a seguir.

a) Plano de Vôo

Foi executado um plano de vôo indicando o centro de cada tomada de foto, utilizando o software TPLAN, e a câmara aérea RMK-TOP obedecendo às seguintes especificações:

- Recobrimento lateral: $30\% \pm 3\%$;
- Recobrimento longitudinal: $60\% \pm 3\%$;
- Ângulo solar: mínimo de 30° para regiões planas e 35° para regiões montanhosas;
- Ângulo de deriva: média por faixa, tolerância de 2° , casos isolados 5° ;
- Verticalidade do eixo ótico: média por faixa, tolerância de 2° , casos isolados 3° ;
- Altitude do vôo: a escala da fotografia em função da altura de vôo, não deverá variar mais que 5% do estabelecido.

b) Recobrimento Aerofotogramétrico

A cobertura aerofotogramétrica foi realizada com aeronave especialmente adaptada à tomada de fotografias aéreas, equipada com piloto automático e equipamento rastreador de satélites do sistema NAVSTAR – GPS, para a orientação do vôo, equipada com câmara aerofotogramétrica automática, grande angular e distância focal calibrada, próxima de 152 milímetros e formato útil de 23x23 centímetros.

A câmara foi equipada com controlador automático de recobrimento e deriva, com mecanismo de integração com GPS de navegação e com chassis com suspensão giro-



estabilizada. Esta possui Certificado de Calibração, fornecido pelo fabricante, realizado a um ano.

O filme aéreo utilizado foi base estável (poliéster), pancromático, colorido, alto poder resolutivo (no mínimo 125 linhas por milímetros) com, no mínimo, 0,004 polegadas de espessura e dentro do período de validade estipulado pelo fabricante.

c) Dados que constam nas fotos

- Escala da foto;
- Número da faixa;
- Número da foto;
- Nome do local;
- Coordenadas do centro das fotos no momento da tomada;
- Distância focal calibrada da câmara; e
- Marcas fiduciais.

d) Laboratório

O processamento do filme aéreo e de todos os seus subprodutos foi realizado em laboratório, com condições de temperatura e umidade relativa controladas.

As cópias fotográficas foram executadas em copiadoras eletrônicas, utilizando papel fotográfico, semi-mate com graduação que permitiu bom contraste.

e) Foto-índice

Para a confecção do foto-índice digital, as fotografias foram escanerizadas e montadas em faixas e estas em blocos, e, em seguida, reproduzidas em escala 4 (quatro) vezes menor que a escala original das fotos, em papel Semi Gloss, enquadradas por coordenadas geográficas, através de cruzetas desenhadas nos 4 (quatro) cantos de cada folha.



Dados contidos no Foto-índice:

- Número de cada exposição que o compõem;
- Números das faixas;
- Escala da foto;
- Escala do Foto-índice.

2.5.3. Apoio Básico

Na Barragem Ceará foram implantados 04 vértices, monumentalizados por marcos de concreto de formato tronco piramidal medindo 10x12x50 cm, com chapa de bronze no centro do topo e elevado a 10 cm do solo. De cada marco foi elaborada uma monografia que se encontra no **Tomo 3B** - *Estudos Cartográficos - Memória de Cálculo*.

Para a determinação das coordenadas de cada vértice da rede de apoio básico da Barragem Ceará tivemos na planimetria origem no V. GROSSO (BICO FINO) do IBGE de latitude 04°38'48,71811" S e longitude 39°25'46,65631" W e altitude de 482,00 m, e chegada no Vértice BARRA do IBGE de latitude 04°31'43,19058" S e longitude 39°23'55,08873" e altitude de 566,53 m.

Foram implantados os vértices M-01 a M-04 e sua determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:100.000.

As medições foram feitas com GPS Trimble 4600LS de uma frequência com duração de rastreio de 1 hora.

Os vértices implantados foram nivelados geometricamente tendo como origem a RN 1681 R e a chegada RN 1681 N ambas do IBGE.

No apoio suplementar foram determinados 9 pontos plani-altimétricos denominados de HV-01 a HV-09.



A determinação foi executada pelo método diferencial estático com rastreamento em tempo suficiente para resolver a ambigüidade com constelação mínima de 05 (cinco) satélites e PDOP de 06 (seis) ou menor, a fim de garantir uma precisão mínima de 1:50.000.

As medições foram feitas com GPS Trimble 4600LS de uma frequência com duração de rastreio de 0,30 hora.

A altimetria do apoio suplementar teve suas altitudes ortométricas determinadas por diferença geoidal definidas através do rastreio de duas RRNN do IBGE, as quais deram altitude aos pontos do apoio suplementar.

2.5.3. Aerotriangulação

As imagens para a geração dos trabalhos foram obtidas a partir da scanerização dos negativos fotogramétricos na escala de 1:15.000, com utilização de “scanner fotogramétrico” com capacidade de geração de imagens digitais com “pixel” de 28 microns.

A aerotriangulação espacial foi executada em equipamentos digitais ISM dotados de programa específico para o cálculo e ajustamento da mesma utilizando a escanerização executada.

No cálculo da aerotriangulação foi utilizado o programa PAT-B do professor Ackermann.

Considerando a importância da aerotriangulação na precisão do produto final, os procedimentos foram rigorosamente controlados.

2.5.4. Restituição Fotogramétrica

Para a vetorização dos elementos cartográficos a seguir discriminados, foram utilizados restituidores digitais dotados de programa específico.

Elementos Cartográficos representados:

- Sistema hidrográfico;



- Altimetria;
- Referências de nível.

A altimetria foi definida até a cota 46 mais 100 metros, para maior segurança dos dados do projeto, perfazendo um total de 40,38 km² de área restituída.

Todos os trabalhos seguiram as INSTRUÇÕES REGULADORAS DAS NORMAS TÉCNICAS DA CARTOGRAFIA NACIONAL, atendendo ao padrão de PEC estabelecido a esse tipo de trabalho.

2.5.5. Produtos Entregue

Serão entregue a SRH/CE os seguintes produtos a respeito do levantamento aerofotogramétrico da bacia da barragem Ceará:

- Uma coleção de aerofotos na escala do vôo;
- Um foto índice na escala de 1:60.000;
- Monografias dos vértices implantados;
- 01 coleção de CD-ROM, contendo fotos aéreas em formato digital;
- 01 coleção de arquivos digitais, em formato DWG-3D na escala 1:5.000, com hidrografia e altimetria. A impressão destes arquivos encontram-se nos desenhos de I-3A-04/12-000 até I-3A-11/12-000, do **Tomo 3A**, acordo com o quadro a seguir:

Articulação	Desenho do Tomo 3A
CEARÁ - A2	I-3A-04/12-000
CEARÁ - A3	I-3A-05/12-000
CEARÁ - B1	I-3A-06/12-000
CEARÁ - B2	I-3A-07/12-000
CEARÁ - B3	I-3A-08/12-000
CEARÁ - C1	I-3A-09/12-000
CEARÁ - C2	I-3A-10/12-000
CEARÁ - C3	I-3A-11/12-000



2.6. LEVANTAMENTO DE JAZIDAS

As áreas das ocorrências de materiais construtivos para execução da barragem Ceará, foram amarradas a partir do eixo barrável, através de uma poligonal locada com a utilização de uma Estação Total Nikon-420. As ocorrências objeto do levantamento planimétrico foram: cinco Jazidas de material terroso, Areal e Pedreira.

2.6.1. Jazidas

Foram estudadas cinco jazidas para construção da barragem de terra. Inicialmente locou-se a poligonal de amarração das jazidas J-1 a J-5, em relação ao eixo barrável, em seguida, através de uma linha base auxiliar.

O quadro a seguir apresenta a quantidade de furos, a área levantada, a extensão da poligonal de amarração e as distâncias das jazidas aos eixos das barragens.

Local	Quantidade de Furos	Área (ha)	Ext. da Poligonal (m)	Dist. da jazida ao eixo (km)
Jazida J-1	91	20,50	280,80	1,00
Jazida J-2	117	23,23 (*)	5.058,40	4,00
Jazida J-3	99	39,00	2.848,90	3,00
Jazida J-4	84	34,50	756,93	3,00
Jazida J-5	35	12,00	146,12	0,30

(*) – Na Jazida J-2 apesar de ter sido levantada uma área de 23,23 ha, selecionou-se uma área de 16,68 ha para exploração.

No **Tomo 3A**, desenho I-3A-12/12-000, apresenta a localização das jazidas e no **Tomo 3C** – *Estudos Cartográficos – Cadernetas de Campo*, encontram-se as cadernetas de locação.

2.6.2. Areas

Para execução do filtro de areia e fonte de fornecimento de agregado miúdo para concretos da barragem Ceará, indicou-se o areal ao longo do rio Cauhípe (A-1), onde foram realizadas investigações geotécnicas por meio de poços à pá e picareta. Este areal



situa-se nas proximidades da lagoa Nova, a cerca de 12 km de distância para a barragem, onde registrou-se as coordenadas E - 516.895 e N - 9.579.361 aferidas com GPS manual.

Identificou-se um outro areal, chamado A-2, ao longo do rio São Gonçalo, distando aproximadamente 32 km da barragem, na localidade de Umari, onde também foram realizados estudos geotécnicos. Como fonte complementar, identificou-se bancos de areia no leito do riacho Capitão Mor (A-3), próximos da Fazenda Patos, distantes cerca de 41 km para a barragem.

2.6.3. Pedreira

As pedreiras de onde será extraído o material pétreo necessário para a construção da barragem, foram identificadas a 0,1 km a jusante da estaca 45(Pedreira P-01)e a 1,8 Km a montante da estaca 8(Pedreira P-03). Colocou-se apenas a título de reserva uma pedreira P-02, situada a 2,8Km a jusante da estaca 8. Nessas três ocorrências foram registradas as coordenadas dos afloramentos principais que constam do quadro seguinte:

Pedreira	Sondagem	Cota (m)	Coordenadas UTM (m)	
			Este	Norte
P-1	-	-	521.660	9.573.278
P-2			523.014	9.575.372
P-3	FP-1	40,147	523.144	9.575.414
	FP-2	40,000	523.038	9.575.288

A localização da pedreira pode ser observada no desenho I-3A-12/12-000 do **Tomo 3A – Estudos Cartográficos – Desenhos.**



MONTGOMERY WATSON



3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS



3. ESTUDOS GEOLÓGICOS E GEOTÉCNICOS

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

A descrição da Geologia Regional foi feita com base em pesquisa de trabalhos realizados anteriormente, tendo como fonte o Mapa Geológico da Região metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR, em escala 1:150.000, elaborado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, em 1995.

O rio Ceará domina a bacia hidrográfica da área em estudo, tendo seu leito uma extensão em torno de 55Km desde a nascente, em terrenos cristalinos até o litoral onde deságua entalhando as dunas de areia. A drenagem se desenvolve através do padrão dendrítico, recebendo seus tributários em ângulos agudos, podendo algumas vezes esta confluência ocorrer em ângulo reto, devida à conformação estrutural.

O relevo é caracterizado basicamente por quatro domínios geomorfológicos (Moreira & Gatto, 1981 e Souza, 1988/1989): Planície Litorânea, Glacis Pré-Litorâneos, Depressão Sertaneja e Maciços Residuais. A Planície Litorânea compreende os campos de dunas, as praias e as planícies flúvio-marinhas. As dunas formam cordões quase contínuos que acompanham paralelamente a linha de costa, interrompidas algumas vezes por planícies fluviais e flúvi-marinhas. As planícies flúvio-marinhas são ambientes criados pela deposição de sedimentos predominantemente argilosos e ricos em matéria orgânica, onde se desenvolve a vegetação de mangue; são formados em áreas onde se processa a mistura de água doce dos rios e lagoas com água salgada que penetra no continente através das marés, formando uma mistura que proporciona a deposição de material escuro e lamacento, que aumenta a cada período de maré cheia, até gerar o ambiente favorável à instalação dos manguesais. Os Glacis Pré-Litorâneos são formados por sedimentos pertencentes à Formação Barreiras e distribuem-se como uma faixa de largura variável que acompanha a linha de costa por trás dos depósitos eólicos antigos e atuais, formando relevos tabulares dissecados por vales alongados e de fundo chato, com cotas altimétricas baixas e suave inclinação em direção ao mar. A Depressão Sertaneja ocupa a área de maior expressão na região. Forma uma superfície de aplainamento, desenvolvida sobre as rochas cristalinas, onde o trabalho erosivo truncou indistintamente variados tipos litológicos, constituindo um extenso pediplano onde predomina uma topografia plana ou levemente ondulada que se inicia na base dos maciços residuais e se inclina



suavemente em direção ao fundo de vales e ao litoral. Os Maciços Residuais quebram a monotonia da depressão sertaneja através da forte ruptura de declive das serras e morros residuais; esses relevos são constituídos, predominantemente, por rochas granítico-migmatíticas e foram formados a partir da erosão diferencial que rebaixou as áreas circundantes, de constituição litológica (gnáissica) menos resistente; destacam-se na área as serras de Maranguape e Aratanha.

As unidades litológicas do complexo de rochas cristalinas do Proterozóico, mapeadas no Mapa Geológico da Região Metropolitana de Fortaleza, foram divididas estratigraficamente da seguinte forma:

- **Complexo Granitóide-Migmatítico:** representado por ortognaisses graníticos e migmatitos diversos, com frequência encerrando lentes anfibolíticas.
- **Complexo Gnáissico-Migmatítico:** com predominância de biotita-gnaisses para ortoderivados, com ou sem moscovita, anfibólio, granada e sillimanita, parcial ou totalmente migmatizados. Ocorrem áreas com predomínio de migmatitos intercalados em lentes de quartzito e lentes de calcário cristalino.
- **Ultrabásitos:** piroxênios de coloração preto-esverdeada, maciços e de granulação média.
- **Rochas Filoneanas Ácidas:** compreendem as rochas tabulares de caráter ácido a hiperácido sob a forma de diques e veios, não mapeáveis na escala regional. Está representada por granitos, pegmatitos e veios quartzosos que cortam indistintamente as rochas mais antigas, com espessuras variáveis, discordantes ou não com a foliação regional.

As unidades do Cenozóico presentes na região estão divididas litoestratigraficamente da seguinte forma:

- **Vulcânicas Alcalinas:** As vulcânicas de natureza alcalina, em jazimentos em formas de “necks” e diques, constituem uma província petrográfica geneticamente relacionada com os vulcanitos do arquipélago de Fernando



de Noronha, cujas idades são atribuídas ao Terciário (em torno de 30 m.a.). Próximo à área da barragem a ocorrência se destaca através de uma elevação circular em forma de cone formando o morro denominado Pão de Açúcar.

- **Formação Barreiras:** constituída por sedimentos terciários areno-argilosos, de coloração avermelhada, creme ou amarelada, frequentemente de aspecto mosqueado, mal selecionados, com níveis conglomeráticos e matriz argilosa caulinítica com cimento argilo-ferruginoso e às vezes silicoso.
- **Coberturas Colúvio-Eluviais:** são compostas de sedimentos terciário-quaternários areno-silto-argilosos, alaranjados e/ou avermelhados, de granulação fina a média, ocasionalmente mais grosseira, com horizontes laterizados na base.
- **Paleodunas:** repousam discordantemente sobre os sedimentos da Formação Barreiras e são, em grande parte, cobertas pelas dunas móveis ou recentes. São constituídas de areias bem selecionadas, de granulação fina a média, por vezes siltosas, com tons amarelados, alaranjados e acinzentados, de composição quartzosa e/ou quartzo-feldspática. São dunas edafizadas, consequentemente com fixação de um revestimento vegetal de maior porte que nas dunas mais recentes.
- **Dunas Recentes ou Móveis:** são constituídas de areias esbranquiçadas, bem selecionadas, de granulação fina a média, quartzosa, com grãos de quartzo foscos e arredondados. Em geral esses sedimentos ocorrem capeando a geração de dunas mais antigas, embora em algumas áreas estejam assentados diretamente sobre os sedimentos terciários da Formação Barreiras.
- **Depósitos Flúvio-Aluvionares e de Mangues:** Areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria orgânica, compreendendo os sedimentos fluviais, lacustres e estuarinos recentes, de idade quaternária.



O arcabouço estrutural da região é caracterizado por um desenvolvimento tectônico polifásico, em que descontinuidades representadas por zonas de fraturas e falhas sucederam-se às estruturas resultantes da tectônica dúctil, muitas vezes tendendo a se posicionarem segundo as orientações das anisotropias pretéritas. Os principais traços estruturais da região estão dispostos, preferencialmente, segundo o “trend” NE-SW. O comportamento dúctil é mais acentuado nas litologias do Complexo Gnáissico-Migmatítico. No domínio das unidades basais, em que as estruturas foram desenvolvidas sob condições de alto grau metamórfico, os dobramentos são complexos, segundo várias fases de redobramentos, observando-se, comumente, dobras em estruturas sinformes e antiformes, abertas ou apertadas, de geometrias simétricas ou assimétricas, harmônicas, desarmônicas e dobras recumbentes. Na unidade do Complexo Granitóide-Migmatítico, a tectônica ruptural parece ser mais expressiva. Frequentemente, a nível de afloramento, observam-se pequenas falhas preenchidas ou não, deslocando diques ou veios graníticos e pegmatóides segundo rejeitos direcionais da ordem de 2 a 30cm. No Cenozóico tem-se uma nova fase de reativação tectono-magmática, vinculada a zonas de fraturas oceânicas de direção E-W, que se estendem desde o arquipélago de Fernando de Noronha, prolongando-se até o interior do continente. Na área este evento é materializado sob a forma de “necks” e diques de rochas alcalinas.

As unidades da região na qual esta inserida a barragem podem ser visualizadas na figura 3.1A apresentada a seguir

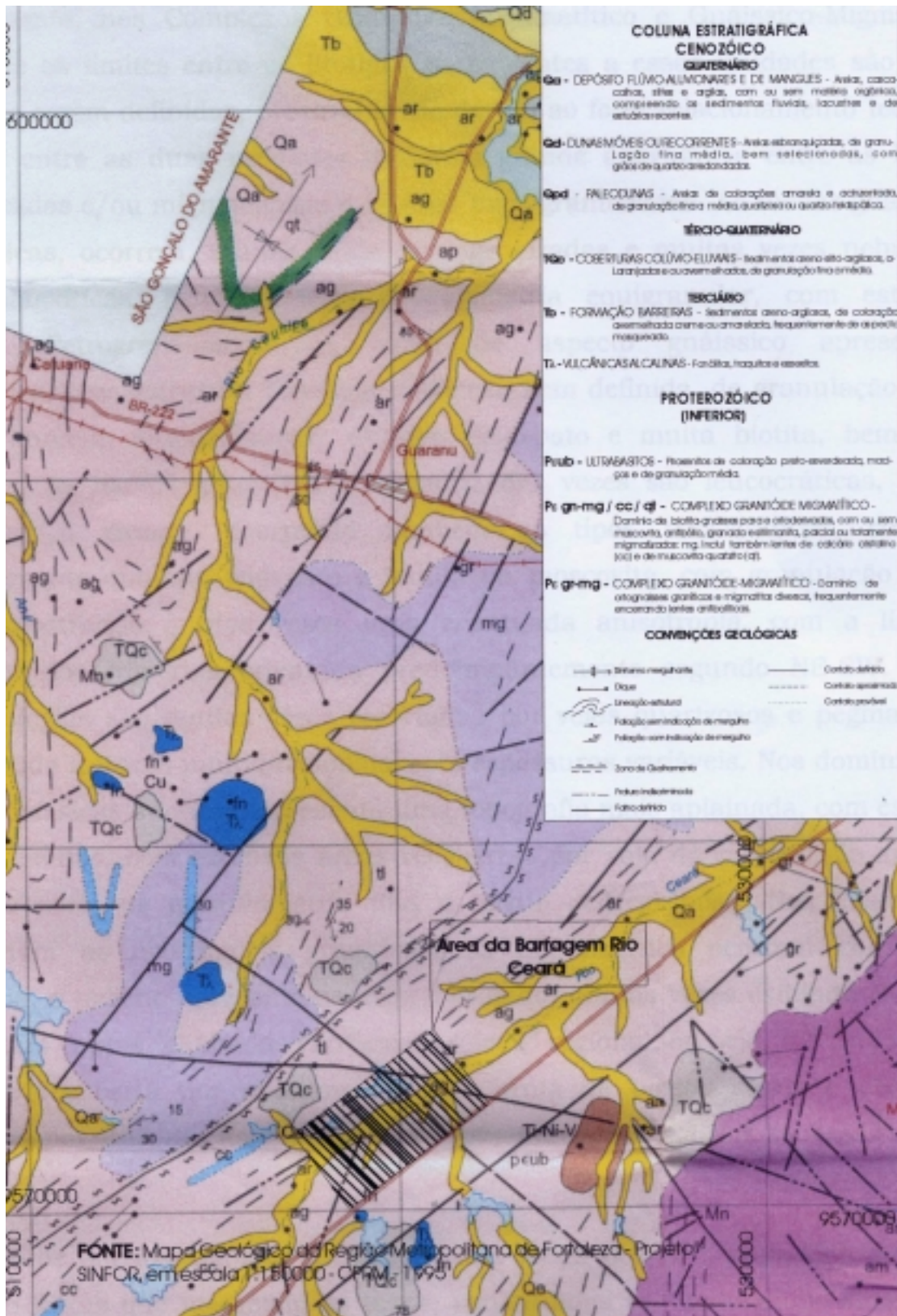


Figura 3.1A - Geologia Regional



3.2. GEOLOGIA LOCAL

A área estudada fica no município de Caucaia, a aproximadamente 50 Km de Fortaleza, no Estado do Ceará.

A geologia local foi definida a partir de interpretação de fotografias aerofotogramétricas em escala 1:15.000, reforçada pela visita de campo em que foram feitos os caminhamentos ao longo dos eixos da barragem e sangradouro e reconhecimento da bacia hidráulica, com utilização de bússola e GPS de mão.

Predominam no local as rochas do embasamento cristalino, classificadas, regionalmente, nos Complexos Granitóide-Migamatítico e Gnáissico-Migmatítico, sendo que os limites entre os litotipos pertencentes a essas unidades são muito difíceis de serem definidos, provavelmente devido ao forte relacionamento tectônico existente entre as duas unidades. Há uma grande alternância entre as litologias gnaissificadas e/ou migmatizadas e aquelas mais granitizadas. As rochas gnáissicas migmatíticas, ocorrem, muitas vezes homogeneizadas e muitas vezes nebulíticas e/ou anatexíticas, exibindo uma granulometria equigranular, com estrutura granítica. Petrograficamente a rocha de aspecto gnáissico apresenta-se mesocrática, com estrutura bandada e foliação bem definida, de granulação fina a média, contendo essencialmente quartzo, feldspato e muita biotita, bem como moscovita. As rochas graníticas na maioria das vezes são leucocráticas, de cor cinza-clara a rosada, ocorrendo também os tipos mesocráticos, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita ou moscovita, com granulação fina a grossa, mostrando muitas vezes uma acentuada anisotropia, com a lineação estrutural dos minerais orientada predominantemente segundo NE-SW. Todas essas litologias são muitas vezes recortadas por veios quartzosos e pegmatíticos, preenchendo fraturas multidirecionais, com espessuras variáveis. Nos domínios das rochas gnáissicas o terreno apresenta uma topografia mais aplainada, com escassez de afloramentos, com extensas áreas recobertas por solo de composição arenosa, cor cinza-clara, de granulometria fina a média pedregulhosa. Nos locais onde predominam as ocorrências graníticas, os afloramentos ocorrem com maior frequência, o terreno apresenta-se mais ondulado, muitas vezes exibindo elevações que formam cristas alinhadas conforme o “trend” regional, ou seja NE-SW, tendo a superfície recoberta por afloramentos em forma



de blocos soltos e dispersos, recortados por fraturas na maioria das vezes preenchidas pelas rochas ácidas já citadas.

Os depósitos aluvionares são encontrados ao longo dos principais rios e riachos formando faixas que margeiam os leitos, constituídas por sedimentos silto-areno-argilosos, algumas vezes contendo matéria orgânica, de granulometria fina e cor cinza com tons variando de claro a escuro. Nas calhas desses cursos se depositam areias de granulometria média a grossa com cascalho, de coloração cinza-clara.

A drenagem local ocorre conforme o modelo regional, ou seja, mantém o padrão dendrítico, que é condicionado à litologia das rochas cristalinas. Os cursos d'água mostram-se muitas vezes retilinizados, indicando o controle exercido por fraturas e falhas.

Em termos estruturais, os tipos litológicos visualizados em afloramentos demonstram a atuação de processos metamórficos e deformacionais ligados a movimentos de deformação dúctil ou plástica, evidenciados nas estruturas planares e dobradas dos gnaisses migmatíticos; nas ocorrências graníticas, a exemplo do que foi dito na geologia regional, há evidências de fases distintas de reativação, demonstradas pela presença de rejeitos provocados por pequenas falhas sobre veios pegmatóides, visualizados em afloramentos. Em maior escala, ocorrem dois grandes falhamentos atravessando a área de inundação da barragem, indicados no mapa geológico da bacia hidráulica. Esse falhamentos estão direcionados discordantes com a foliação e se interceptam no local onde fica situado o açude Muquém.

A foliação dominante na área está orientada concordante com o “trend” regional, ou seja, segundo NE-SW. As condições e a escassez dos afloramento na área dificultaram sobremaneira as investigações quanto à intensidade e direção dos mergulhos da foliação, contudo as poucas medidas conseguidas demonstra mergulho preferencial para SE. O evento estrutural de maior importância, considerado em termos regionais, que é a falha de Jaguaribe, passa a aproximadamente 5Km à NW do eixo da barragem.



3.3. LEVANTAMENTO GEOLÓGICO DE SUPERFÍCIE

O levantamento geológico de superfície foi realizado no campo com o objetivo de identificar as unidades litológicas presentes, definindo seus contatos litológicos.

Ao longo do eixo locado, abrangendo uma faixa de 150m para montante e 150m para jusante foram estudadas as ocorrências e mapeados os principais afloramentos contendo rocha em superfície. Na bacia hidráulica os percursos foram feitos de carro de passeio pelos acessos disponíveis na área, com utilização de GPS de mão para anotação dos pontos visitados.

O eixo topográfico locado para a barragem tem orientação geral segundo NW-SE, está estaqueado em campo a cada 20m. No local do sangradouro o eixo sofre uma deflexão, ficando orientado segundo N-S.

A litologia presente no sítio onde será implantada a barragem é basicamente formada por rochas do complexo cristalino, representadas por granitos e gnaisses. A topografia do terreno é plana a suavemente ondulada. Os afloramentos na área ocorrem de forma escassa, se concentrando mais nas ombreiras, já em cotas próximas do coroamento, em forma de blocos ou matacões de rocha granítica. A rocha é leucocrática, de cor cinza-clara a rosada, contendo essencialmente quartzo, feldspato e biotita, mostrando anisotropia nos minerais que evidencia uma lineação estrutural segundo N60°Az, e um aspecto são a nível de superfície, com muitos fraturamentos e alguns planos de cisalhamento indicando movimento destrógiro.

A faixa de aluvião se desenvolve nas margens e no leito do rio Ceará, com aproximadamente 500 metros de largura, da margem esquerda à direita, ao longo do eixo, apresenta uma topografia suave e plana, e o solo é composto de silte areno-argiloso de granulometria fina, de cor cinza e amarela, variegada, em alguns locais com tons mais escuros. Na superfície da faixa aluvionar ocorre um solo argiloso, escuro com presença de matéria orgânica, com inúmeras trincas de retração e forte odor. A calha do rio se comporta de forma sinuosa, contendo superficialmente, no leito, areia de granulometria fina a média com pedregulhos, de cor cinza clara.



Subindo na margem direita, ao longo do eixo locado, ocorre um morrote de solo silto arenoso cinza claro com alguns afloramentos de granito róseo no seu ponto culminante. Após o morrote o terreno se desenvolve de forma plana e suave, com aclive gradativo para a ombreira direita, com ausência quase que total de afloramentos, a exceção de alguns pequenos blocos na região da estaca 75-80. O solo de superfície apresenta composição arenosa e pedregulhosa, podendo ser resultado da alteração ou do transporte por gravidade das rochas cristalinas, formando depósitos elúvio-colúviais.

A partir de 103 direções de fraturas medidas nas rochas aflorantes na ombreira esquerda da barragem e na bacia hidráulica, foi elaborado o Diagrama de Roseta para definição da direção preferencial média percentual, que se dá segundo N110°Az a N120°Az, representando um percentual de 29,12% do total medido e entre N50°Az a N60°Az, representando 20,38%. O mergulho se dá preferencialmente sub-vertical (60° a 80°) com variações para NE, SE e SW.

3.4. INVESTIGAÇÃO DO BARRAMENTO

3.4.1. Sondagens realizadas

As investigações geotécnicas realizadas no local do maciço da barragem objetivaram a identificação e compreensão das características e peculiaridades do solo de fundação e do substrato rochoso deste sítio, visando a concepção de um maciço tecnicamente adequado e seguro além, de economicamente viável.

Para concretização deste objetivo foram realizadas 20 prospeções mecânicas, sendo 15 sondagens à percussão e 5 sondagens mistas (iniciada por processo percussivo e prosseguida com sonda rotativa), nas posições indicadas nas figuras nº3.1 , 3.2 e 3.3 constantes deste Tomo.

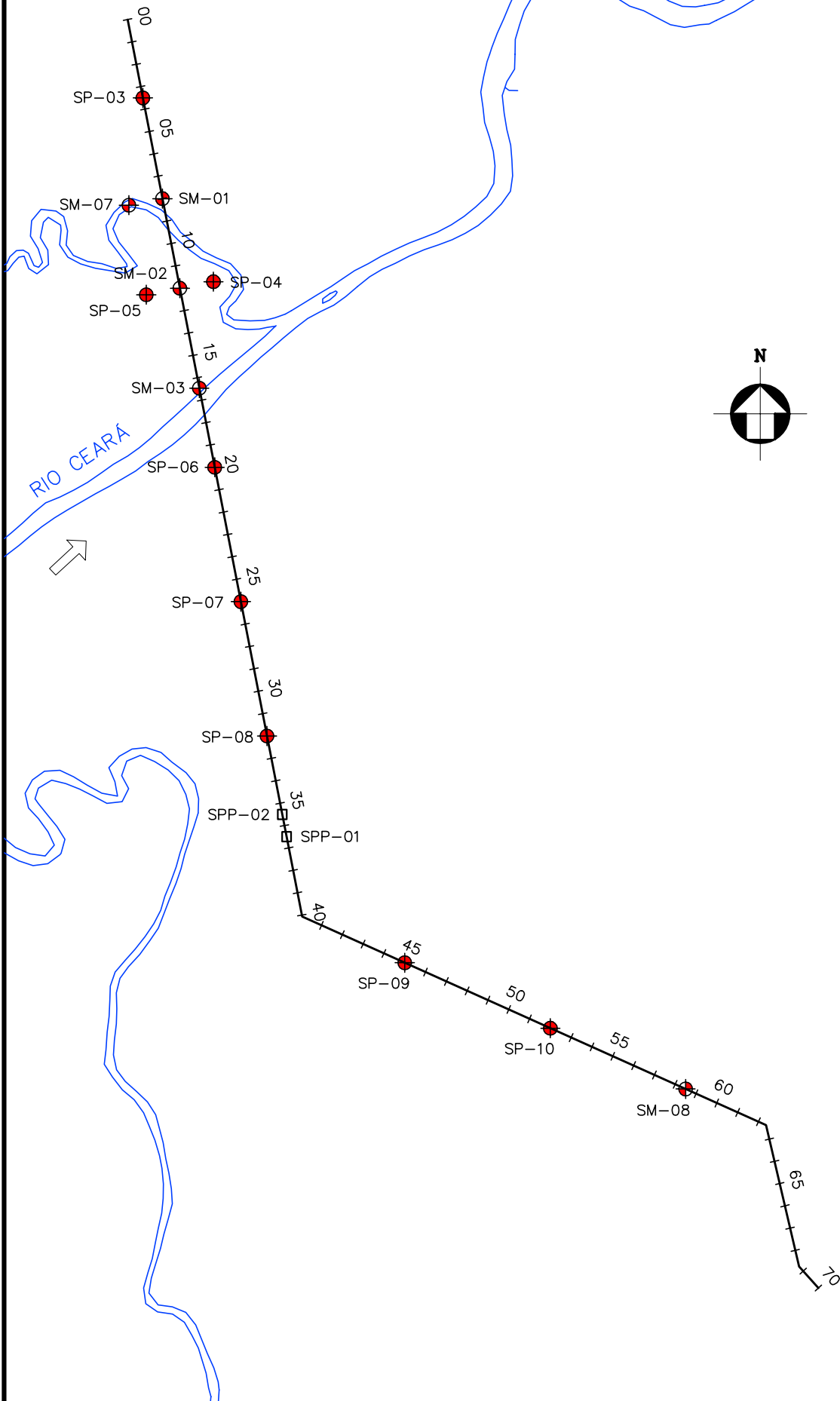
Com o intuito de avaliar a permeabilidade dos solos da fundação e obter informações qualitativas sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso, foram realizados ensaios de campo em todos os furos das sondagens mistas na região do maciço principal. No trecho perfurado com sonda rotativa, esses testes consistiram de ensaios de perda d'água sob pressão (Lugeon). Em algumas sondagens percussivas selecionadas foram, também, realizados ensaios de infiltração. Os resultados destas



sondagens e ensaios de campo são apresentados nos desenhos do Tomo 4 A, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

INVESTIGAÇÕES NO BARRAMENTO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

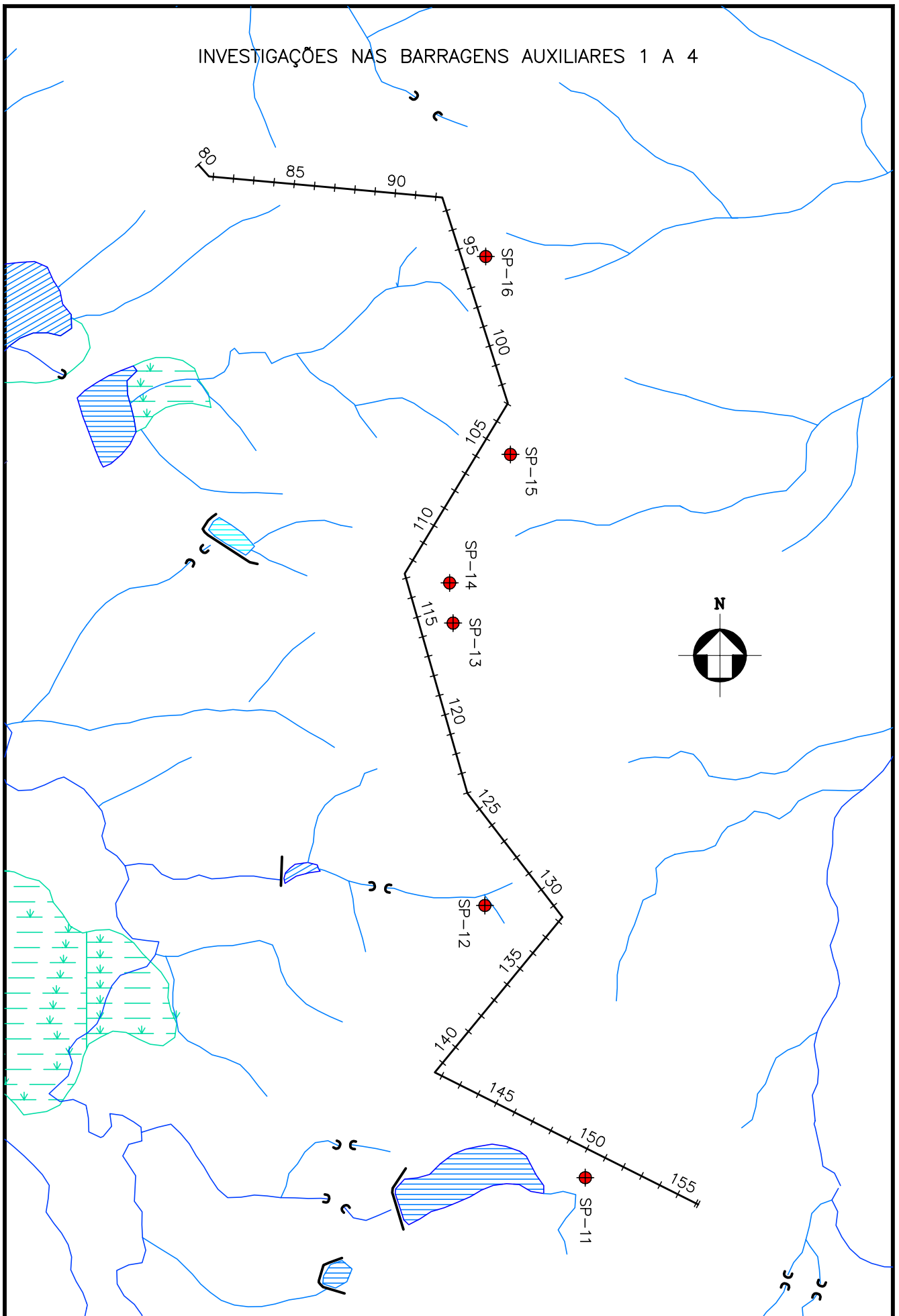
DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

3.1

INVESTIGAÇÕES NAS BARRAGENS AUXILIARES 1 A 4



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

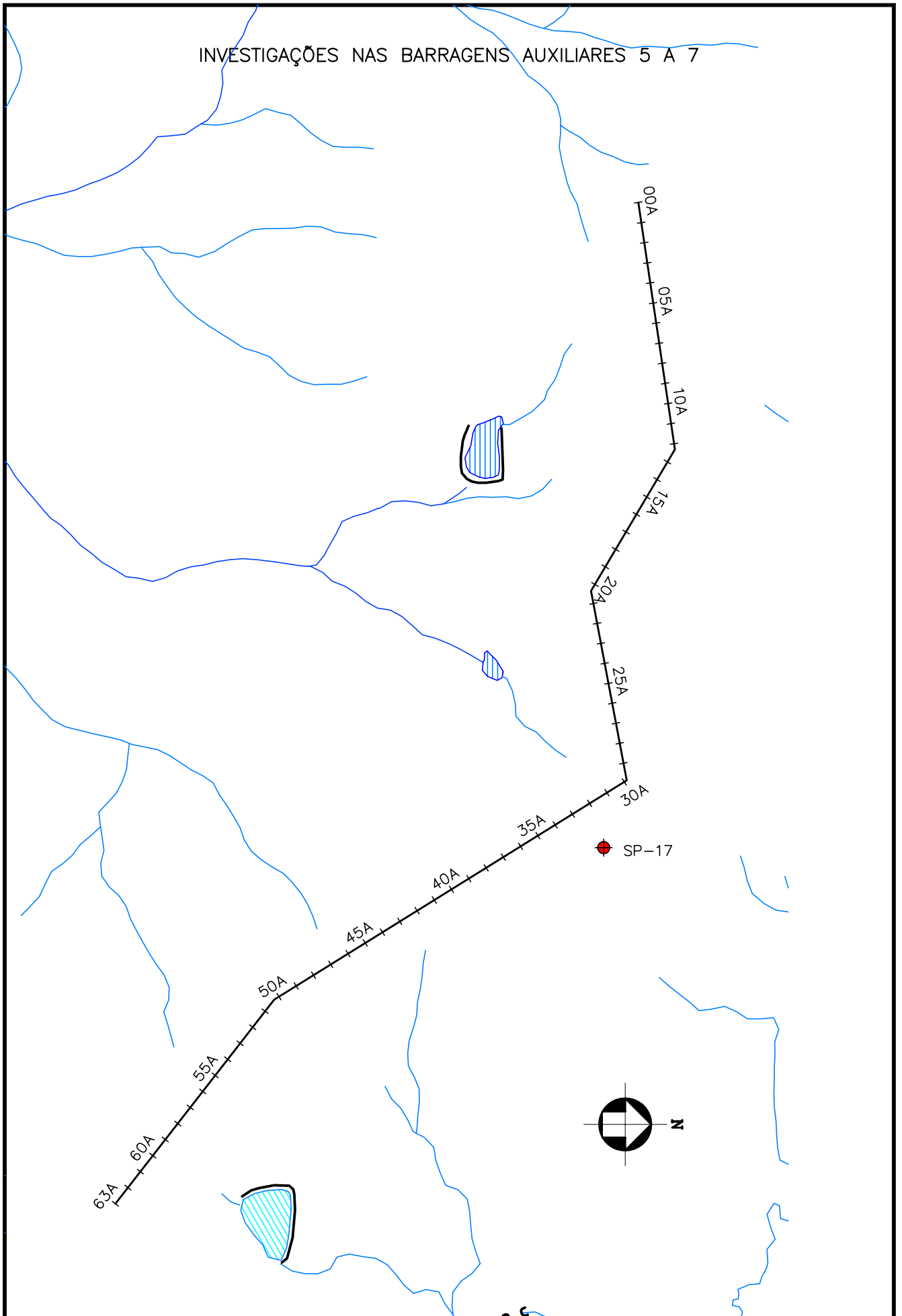
DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

3.2

INVESTIGAÇÕES NAS BARRAGENS AUXILIARES 5 A 7



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

3.3



3.4.2. Sondagens a Percussão

Nas sondagens a percussão foram empregados dois processos para avanço do furo, iniciando-se com um trado concha de 4” e prosseguindo-se até tornar-se inoperante diante da consistência ou compacidade do material encontrado. A partir destas condições o furo foi revestido e passou-se então ao processo de perfuração com circulação de água, usando-se o trépano de lavagem como ferramenta de escavação e a remoção do material escavado através da água de lavagem. Ao ser encontrado material resistente ao avanço pelo processo de circulação de água o furo foi interrompido.

Para a extração das amostras foi utilizado o amostrador padrão de 2” e 1 3/8” de diâmetros externo e interno, respectivamente, o qual foi cravado no terreno por meio de golpes de um martelo de 65kg, com altura de queda de 75cm. Durante a cravação do amostrador foram registrados os números de golpes necessários para fazer tal ferramenta penetrar cada 15cm no terreno, até uma penetração total de 45cm. A soma dos golpes das duas últimas parcelas de 15cm, ou seja, dos 30cm finais de cravação, está apresentada sob forma de tabela e gráfico nos perfis de sondagens, no Tomo 4-A Estudos Geotécnicos - Anexos. Esta soma de golpes é denominada de “Standard Penetration Test (SPT)”.

Na Tabela N° 3.1, a seguir, são relacionadas as sondagens percussivas, suas referencias plani-altimétricas, as extensões investigadas, o menor valor de SPT registrado ao longo da sondagem e sua correspondente compacidade ou consistência.

Tabela N °3.1: Sondagem Percussiva no Eixo da Barragem Ceará

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-3	3+10	521.373	9.573.958	38,816	2,51	8	Média Consistência
SP-4	12 (30m para jusante)	521.445	9.573.804	32,734	4,60	7	Pouco Compacta
SP-5	12 (30m para montante)	521.382	9.573.806	32,109	1,93	6	Média Consistência
SP-6	20	521.454	9.573.624	32,020	7,10	4	Mole
SP-7	26	521.478	9.573.504	32,854	8,15	6	Média Consistência
SP-8	32	521.860	9.573.093	32,542	3,63	19	Muito Rija

**Tabela N °3.1: Sondagem Percussiva no Eixo da Barragem Ceará**

N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão Sondada	SPT Mínimo	Compacidade ou Consistência Mínima
		Este (X)	Norte (Y)				
SP-9	45	521.614	9.573.203	36,014	2,17	16	Muito Rija
SP-10	52	521.741	9.573.146	34,702	3,76	5	Média Consistência
SP-11	150 +11(26 m para montante)	522.491	9.571.771	46,850	4,62	3	Fofa
SP-12	128 +18(53m para montante)	522.392	9.572.039	43,012	3,90	3	Fofa
SP-13	115 + 15(32 m para jusante)	522.360	9.572.317	48,204	3,70	2	Fofa
SP-14	113+16 (40 m para jusante)	522.357	9.572.357	48,715	3,50	11	Medianamente Compacta
SP-15	105 +1 (28 m para jusante)	522.417	9.572.484	48,804	1,21	3	Fofa
SP-16	95 + 15(23 m para jusante)	522.393	9.572.679	46,048	2,95	32	Compacta
SP-17	32 +11 (44 m para jusante)	521.536	9.575.068	46,514	3,40	2	Fofa

As sondagens percussivas realizadas na região do maciço da barragem totalizaram, 57,13m

3.4.3. Sondagens Mistas

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por meio de rotação. O processo de execução do trecho percussivo foi semelhante ao descrito no subitem 3.1- Sondagem Percussiva. Os trechos de sondagem rotativa foram executados com coroa NX de diamante acoplada a um barrilete duplo. A sonda utilizada foi a MARCH-850. Para cada operação do barrilete foram registradas a percentagem de recuperação e o número de peças, dados que estão indicados nos perfis de sondagens.

Na Tabela N° 3.2, a seguir, são relacionadas as sondagens mistas, informadas suas referências plani-altimétricas, as extensões investigadas por processo percussivo e rotativo, e a descrição da rocha predominante.



Tabela Nº 3.2: Sondagem mista no Eixo da Barragem Ceará

Nº	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		SPT Min.	Rocha Predominante
		Este (X)	Norte (Y)		Percussão	Rotativa		
SM-1	08	521.397	9.573.874	32,498	1,45	11,65	16	Granito, dura a muito dura, amarelo, maciço
SM-2	12	521.416	9.573.796	32,734	9,04	10,06	5	Granito moderadamente dura a muito dura, cinza, maciço
SM-3	16 + 7	521.435	9.573.698	31,035	0,50	11,50		Granito, dura a muito dura, cinza, maciço
SM-7	08 (30m para Montante)	521.374	9.573.872	31,240	2,12	16,02		Granito, muito macia a moderadamente dura, cinza claro, granulação fina, maciço
SM-8	58 + 10	521.870	9.573.070	39,790	4,68	2,02	32	Granito, moderadamente dura a dura, meio granulada, cinza clara

Portanto, na região do maciço do barramento foram executadas 5 sondagens mistas, totalizando 69,04 m, dos quais 17,79 m com emprego de sonda percussiva e 51,25 m com sonda rotativa.

3.4.4. Ensaios de Campo

Nas sondagens percussivas SP-04, SP-05, e SP-07 foram executados ensaios de infiltração do tipo Lefranc, para a determinação do coeficiente de permeabilidade “*in situ*” do substrato terroso. Os ensaios de permeabilidade em solos foram executados conforme as orientações para a sua execução no campo preconizadas no Boletim Nº 04 (junho de 1996) pela ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O número de ensaios e as permeabilidades máximas (cm/s) encontradas por furo são relacionadas na Tabela nº 3.3 porém, os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais e em fichas de cálculo no Tomo 4 A.



Nas sondagens mistas, trecho em rocha, SM-1, SM-2, SM-3 e SM-7 foram executados ensaios de perda de água sob pressão (Ensaio Lugeon), para a determinação quantitativa sobre a circulação de água através das fissuras do substrato rochoso. Os ensaios de perda d'água (Lugeon) foram executados conforme as orientações preconizadas no Boletim Nº 02 da ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. O número de ensaios e a perda específica máxima encontrada por furo são relacionadas na Tabela nº 3.3, e os resultados de cada ensaio são apresentados nos boletins de sondagens individuais no Tomo 4 A.

Tabela Nº 3.3: Ensaios de Campo no Eixo da Barragem Ceará							
Nº	Estaca	Extensão Sondada	Nº de Ensaios Lefranc	Nº de Ensaios Lugeon	Máxima Permeab. Registrada (cm/s)	Máxima Perda d'água Específica Registrada	Profundidade de máxima Permeab. / Perda D'água
SP-04	12(30 m para jusante)	4,60	3	-	8,0x10E-4	-	2,00-2,60
SP-05	12(30 m para montante)	1,93	2	-	1,2x10E-5	-	2,00-2,50
SP-07	26 (eixo)	8,15	6	-	6,4x10E-4	-	2,00-3,00
SM-01	8 (Eixo)	11,65	-	1	-	0,42	5,10-8,10
SM-02	12 (eixo)	10,06	-	3	-	0,28	17,10-19,10
SM-03	16+10 (eixo)	11,50	-	3	-	1,95	7,40-10,40
SM-7	8 (30m para Jusante)	11,50	-	2	-	0,29	2,70-5,70

Perda D'água em l/min/m/atm

3.4.5 Comentários

Desta campanha de sondagem realizada no boqueirão da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- Na ombreira esquerda, percebe-se alguns afloramentos de rocha granítica, que associados com o resultado da sondagem percussiva SP-03, revelam a pouca



espessura do solo de recobrimento do substrato rochoso. O manto de solo residual neste local é constituído por um solo argiloso siltoso, micáceo, com fragmentos de rocha, de cor avermelhada, com espessura de cerca de 2,45 m. O ensaio SPT mostrou valores elevados representando uma consistência de média a dura.

- b) Na faixa de aluvião, compreendida aproximadamente entre as estacas 8 e 32, a espessura do solo varia de 10,20 m (na estaca 12) até 0,50 m na calha do rio(estaca16+10).Entre as estacas 8 e 31 ocorre na superfície um depósito de solo argilo siltoso, com matéria orgânica, de cor cinza escuro, com inúmeras trincas de contração por ressecamento, até uma espessura de cerca de 2,00m.

Entre a ombreira esquerda e a calha do rio (estaca 16+10) o pacote aluvionar imediatamente subjacente a camada com matéria orgânica, é constituído por solos argilo siltosos ou silto argilosos, pouco arenosos, que alcançam a profundidade de cerca de 3,0m. A seguir o estrato passa a se tornar mais arenoso, micáceo, com presença de fragmentos de rocha, tomando feições de um solo residual, até uma profundidade de 6,50 m. Entre a profundidade de 6,50m 10,00m o solo da fundação passa a ser constituído por uma areia fina e média siltosa, onde os fragmentos de rocha são mais freqüentes, de consistência muito compacta.

Na região entre a calha do rio(estaca 16 + 10) e o início da ombreira direita(aprox. estaca 32) o pacote aluvionar subsequente ao superficial (argila com material orgânico) constitui-se, predominantemente, de solos areno-siltosos, que atingem a profundidade de cerca de 8,0 m. O referido pacote apresenta-se muito compacto nas proximidades da ombreira direita e com menor compacidade junto a calha do rio. Na sondagem SP-06 (estaca 20) obteve-se na profundidade de 3,45 m um SPT de 3, limitado por valores de 10 e 5 nas profundidades de 2,45 e 4,45, respectivamente.

- c) Na elevação à direita do trecho aluvionar do rio Ceará, foi verificada as condições de fundação através de poços escavados manualmente. Essas prospecções indicaram nas estacas 35+10 e 36+10,um recobrimento do substrato rochoso constituído de um solo silto arenoso, de cor cinza, com profundidade de 4,0 e 2,10m, respectivamente.



Observou-se que esse solo diminui de espessura a medida que sobe-se a encosta, inclusive, com desaparecimento na região da cume da elevação.

- d) O substrato rochoso é constituído por rochas graníticas, macia na sua parte mais superficial e dura a muito dura em profundidade. Essa porção macia apresenta-se de medianamente a altamente intemperizada, com um número de fraturas superior a 20/m e recuperação inferior a 60%, alcançando uma espessura máxima de 5,70m na sondagem SM-03.

A região de maior dureza do substrato rochoso apresenta-se ligeiramente a medianamente intemperizada, com recuperação elevada(praticamente 100%) e pequeno fraturamento sub-vertical.

- e) Via de regra os ensaios de perda d'água foram realizados de forma descendente, com espaçamento de 3,0m na rocha, com inserção de um único obturador. Os resultados dos ensaios mostraram na grande maioria valores de perda d'água entre 0,15 e 0,40 l/min/m/atm. O comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas foi predominantemente "de deformação sem alteração" tendo ocorrido alguns casos de "deformação com fechamento". No entanto, na sondagem SM-07 (estaca 8), realizada a 30m a montante do eixo, a perda d'água foi total em vários trechos onde se tentou realizar o ensaio.
- f) O ensaios de permeabilidade "in situ" com carga constante (Le Franc), realizados a cada 1,0m de profundidade nas sondagens percussivas, registraram valores de permeabilidade para o solo, em média entre 8×10^{-4} e 10^{-5} cm /seg.

3.5. INVESTIGAÇÃO DO SANGRADOURO

Os estudos geotécnicos no local do sangradouro foram realizados com a finalidade de fazer a identificação e caracterização do subsolo, inclusive, avaliando a capacidade do material rochoso de resistir aos processos erosivos provocados pelas descargas previstas.

3.5.1. Sondagens Realizadas

Para este fim foram realizados 3 furos de sondagens mistas (iniciado por percussiva e prosseguido com sonda rotativa) e 2 furos de sondagens percussivas, nas posições



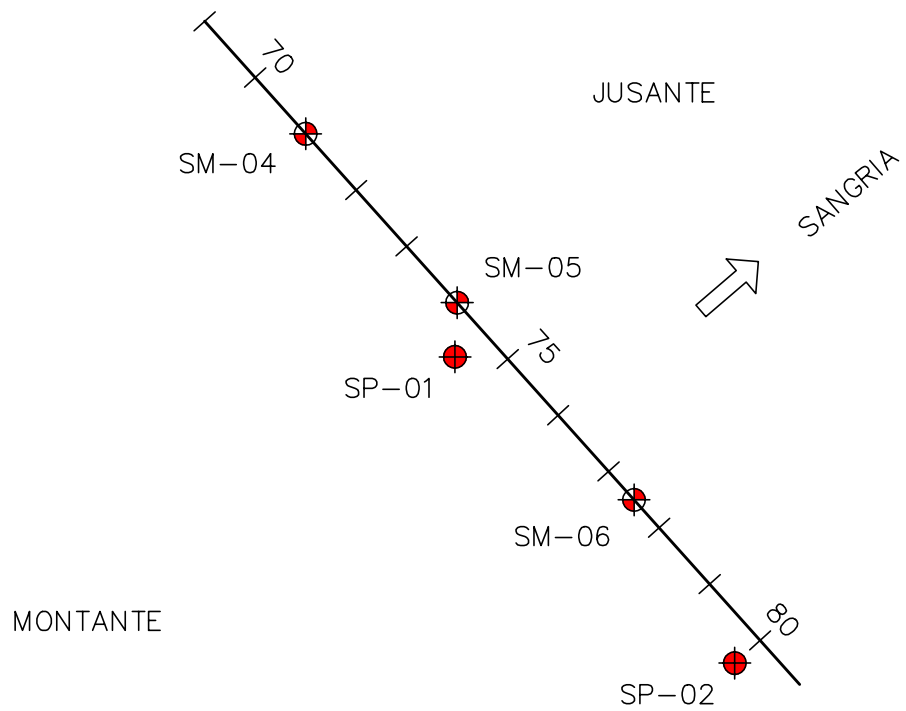
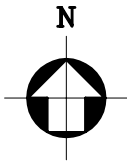
indicadas na figura nº 3.4, apresentada a seguir. Os resultados destas sondagens e ensaios de campo são apresentados, também, nos desenhos do Tomo 4 A, sob forma de perfis individuais do subsolo no local de cada furo.

Todos os furos de sondagem foram referenciados ao eixo topográfico implantado e tiveram suas coordenadas UTM registradas. Altimetricamente tiveram as cotas das bocas levantadas através de nivelamento topográfico.

As sondagens mistas foram iniciadas a percussão e prosseguidas por rotativa. O processo de execução destas sondagens obedeceu ao mesmo processo descrito anteriormente , nos subitens 3.4.1 e 3.4.2, para sondagens a percussão e rotativa.

Na Tabela Nº 3.4, a seguir, é mostrada a relação das sondagens mistas realizadas no local do sangradouro.

INVESTIGAÇÃO NO SANGRADOURO



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:2.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA Nº :

3.4

**Tabela N° 3.4: Sondagens Mistas no Sangradouro da Barragem Ceará**

N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota (m)	Extensão (m)		Rocha Predominante	Grau de intemperismo
		Este (X)	Norte (Y)		Percus	Rotat.		
SM-4	71	521.990	9.572.903	44,847	2,00	6,22	Granito mod. duro a muito duro, cinza claro	Ligeiramente Intemper.
SM-5	74	522.030	9.572.858	45,536	2,81	6,04	Granito mod. duro a muito duro, cinza claro	Ligeiramente Intemper.
SM-6	77+10	522.077	9.572.806	44,775	3,47	6,11	Granito mod. duro a muito duro, cinza claro	Ligeiram. Intemper.

As sondagens mistas realizadas na área do sangradouro totalizaram 8,28m de perfurações percussivas e 18,37m de rotativas.

Na tabela 3.5 é apresentada a campanha de sondagens percussivas realizada na região do sangradouro compreendida entre estacas 74 e 80.

Tabela N° 3.5: Sondagens Percussivas no Sangradouro da Barragem Ceará

N°	Estaca	Coordenadas (UTM)		Cota da boca (m)	Extensão do furo (m)	Cota do impenetrável (m)
		Este (X)	Norte (Y)			
SP-01	74+10(10m para Montante)	522.033	9.572.826	45,612	0,88	44,732
SP-02	80 (9 m para montante)	522.113	9.572.754	44,270	1,85	42420

A extensão total de sondagens percussivas foi de 2,73m.

3.5.2. Comentários

Desta campanha de sondagem realizada no sangradouro da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:



- a) Da análise geral das três sondagens rotativas executadas na área do sangradouro percebe-se que a rocha perfurada constitui-se de granito, apresentando no topo uma zona mais intemperizada, com 0,30 a 2,00m de espessura, onde a rocha é mais fraturada, com RQD (Rock Quality Designation) muito baixo (predominantemente zero). Subjacente a esta zona a rocha apresenta melhores características, com uma dureza de moderadamente dura a muito dura, ligeiramente intemperizada a sã, com valores de RQD mais elevados, entre 70% e 100%.
- b) O topo do substrato rochoso no eixo locado do sangradouro situa-se entre 1,65 e 3,47 m abaixo da superfície do terreno natural, ou seja, entre as cotas 44,00 e 41,30. Nas sondagens rotativas verificou-se que na estaca 71 ocorre a profundidade máxima da rocha granítica macia (intemperizada), correspondendo a proximidade da cota 40,0m.
- c) O solo predominante na área do sangradouro constitui-se de um silte arenoso, pouco argiloso, micáceo, com fragmentos de rocha, com espessura observada nas sondagens de 1,70m.

3.6. ESTUDO DOS MATERIAIS CONSTRUTIVOS

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na construção da barragem 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.

Como fonte de materiais para construção da barragem foram indicadas 5 jazidas de solos, 3 pedreiras e 3 areais, cuja situação em relação ao eixo pode ser vista na figura n.º 3.5.

A jazida J-01, situada num morrote de encostas íngremes, prolongamento para jusante da ombreira esquerda, distante cerca de 1,0Km para o maciço da barragem, apresenta uma razoável extensão de rocha alterada e fragmentos de rocha de dimensões variadas, com finos areno siltosos. Sua proximidade com o local do barramento sugere que se utilize todo o volume disponível, 140.000 m³, antes que se explore outra ocorrência, para maior economia do empreendimento.



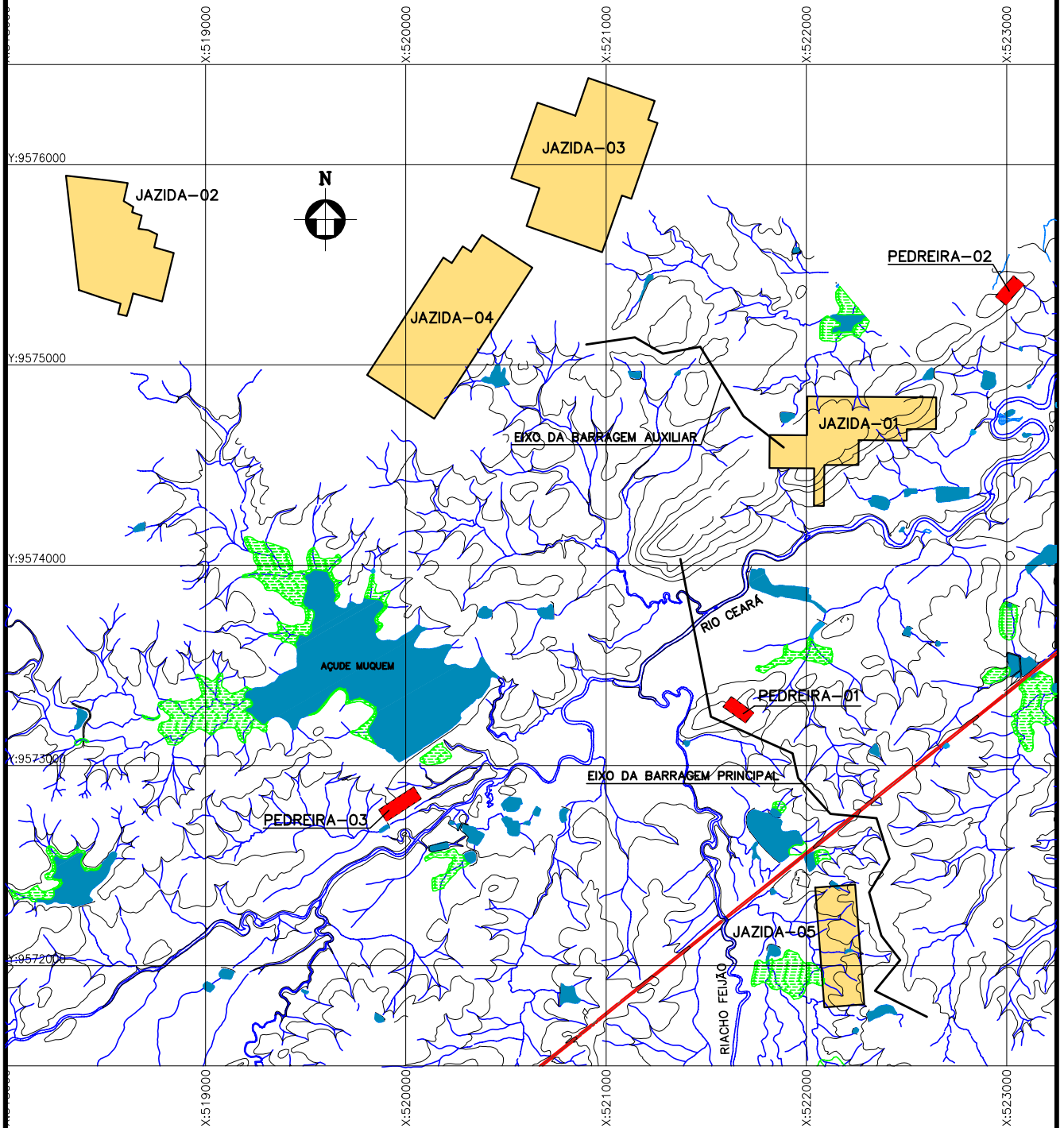
A jazida J-02 situa-se a montante do eixo, porém fora da área do reservatório, é constituída de solos SM semelhantes ao da jazida J-01 e fica distante cerca de 4,0 Km para o barramento . Esta ocorrência possui um potencial de 200.000 m³ porem é mais distante de todas as jazidas estudadas, sendo recomendada como reserva.

As jazidas J-03 e J-04 situam-se a esquerda do barramento principal , próximas da barragens auxiliares BA-05, 06 e 07, sendo constituídas de solos classificados como SC-SM, ficando distantes 3,0Km para o maciço principal, tendo disponíveis os volumes de 350.000 e 270.000 m³, respectivamente.

A jazida J-05, situada na região à direita do sangradouro e próxima das barragens auxiliares BA-02, 03 e 04, é constituída de um solo areno siltoso pouco argiloso(classificado como SM-SC), e dista 0,3 Km para as respectivas barragens auxiliares. O volume estudado nesta ocorrência foi de 120.000m³.

Para obtenção de material pétreo estudou-se um afloramento de granito róseo (pedreira P-01), distante cerca de 100m a jusante da estaca 45 e cerca de 500 m para o curso principal do rio Ceará. No entanto, diante da proximidade com o eixo, que poderá causar transtornos à execução das obras, estudou-se um afloramento, dito pedreira P-03, situado a montante do eixo e dentro da área a ser inundada, constituído de granito róseo, distante cerca de 1,8Km para o eixo da barragem principal. Como uma reserva foi estudado um outro afloramento do mesmo material, porém situado a 2,8 Km a jusante do eixo, que foi denominado de pedreira P-02.

LOCALIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS DE MATERIAIS CONSTRUTIVOS



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:30.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

3.5



3.6.1. Jazida de Solos

As jazidas de solos foram estudadas através de sondagens a pá e picareta executadas nos vértices de uma malha quadrada de 50m de lado, cobrindo a área a ser explorada, conforme é mostrado nas figuras nºs 3.6 a 3.10. Os horizontes encontrados nestes furos foram identificados, classificados títul visualmente e medidas suas espessuras, conforme apresentado nos boletins de campo no Tomo 4 A- Geologia e Geotecnia- Anexos. Em furos representativos das jazidas foram coletadas amostras, as quais foram enviados ao laboratório e submetidas a campanha de ensaios geotécnicos, a saber:

- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 80-64)
- 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)
- Peso Específico dos Grãos. (DNER-ME 93-64)

Nas Tabelas Nº 3.6 a 3.10 são mostrados os resumos dos resultados dos ensaios de laboratório.

Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foram realizados os seguintes ensaios especiais nas ocorrências de solo:

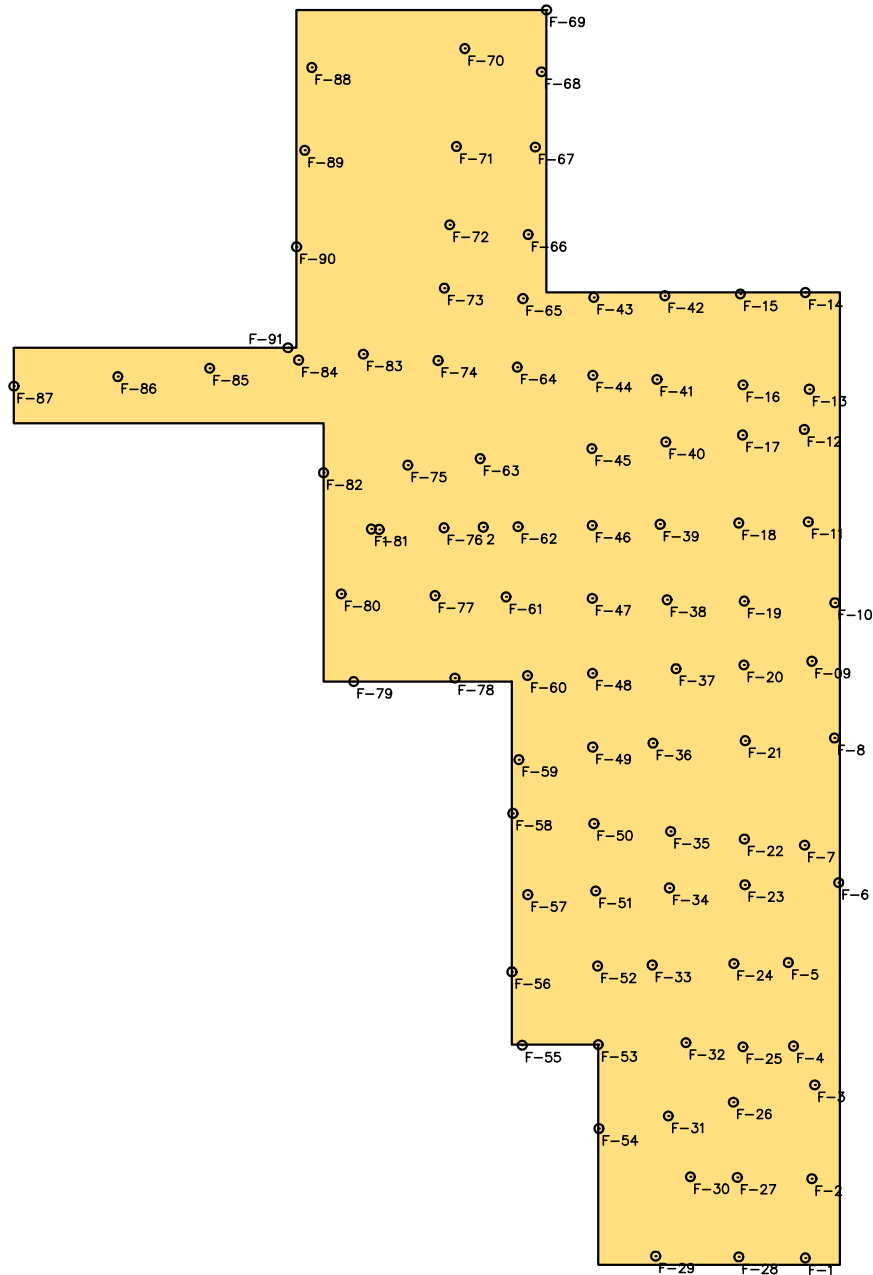
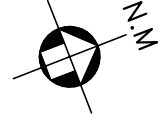
- Permeabilidade de Carga Variável.
- Triaxial (tipo Consolidado Drenado – lento)

Como os ensaios de permeabilidade de carga variável e o triaxial não são normalizados, foram realizados por técnicas usuais.

Tabela Nº 5.6: Valores Médios dos Ensaios Especiais das Jazidas

Jazida	Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)	Triaxial	
		Coessão (kgf/cm ²)	φ (°)
J-01	5,6x10 ⁻⁷	0 a 0,02	27,0 a 28,5
J-02	4,4x10 ⁻⁷	0 a 0,14	26,8 a 31,4

JAZIDA-01



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1: 5.000

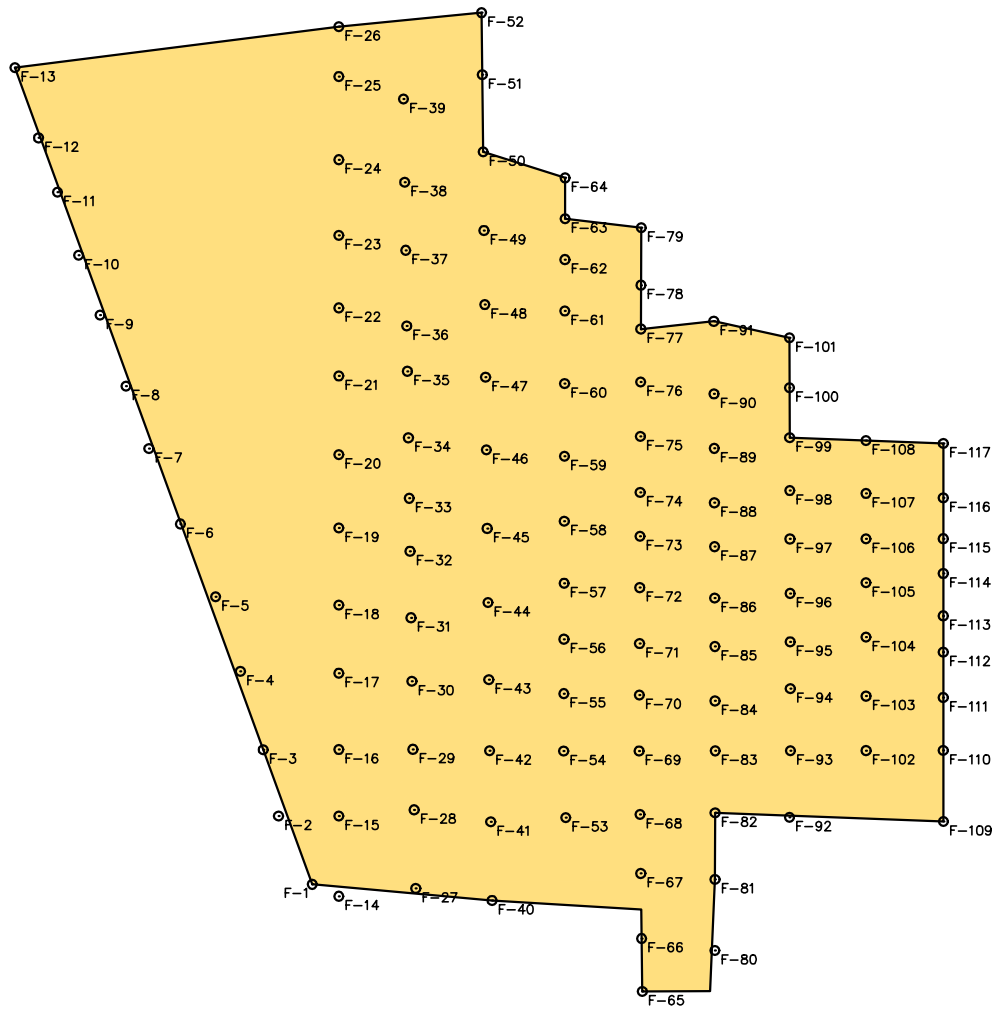
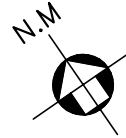
DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

3.6

JAZIDA-02



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

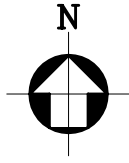
1: 5.000

DATA:

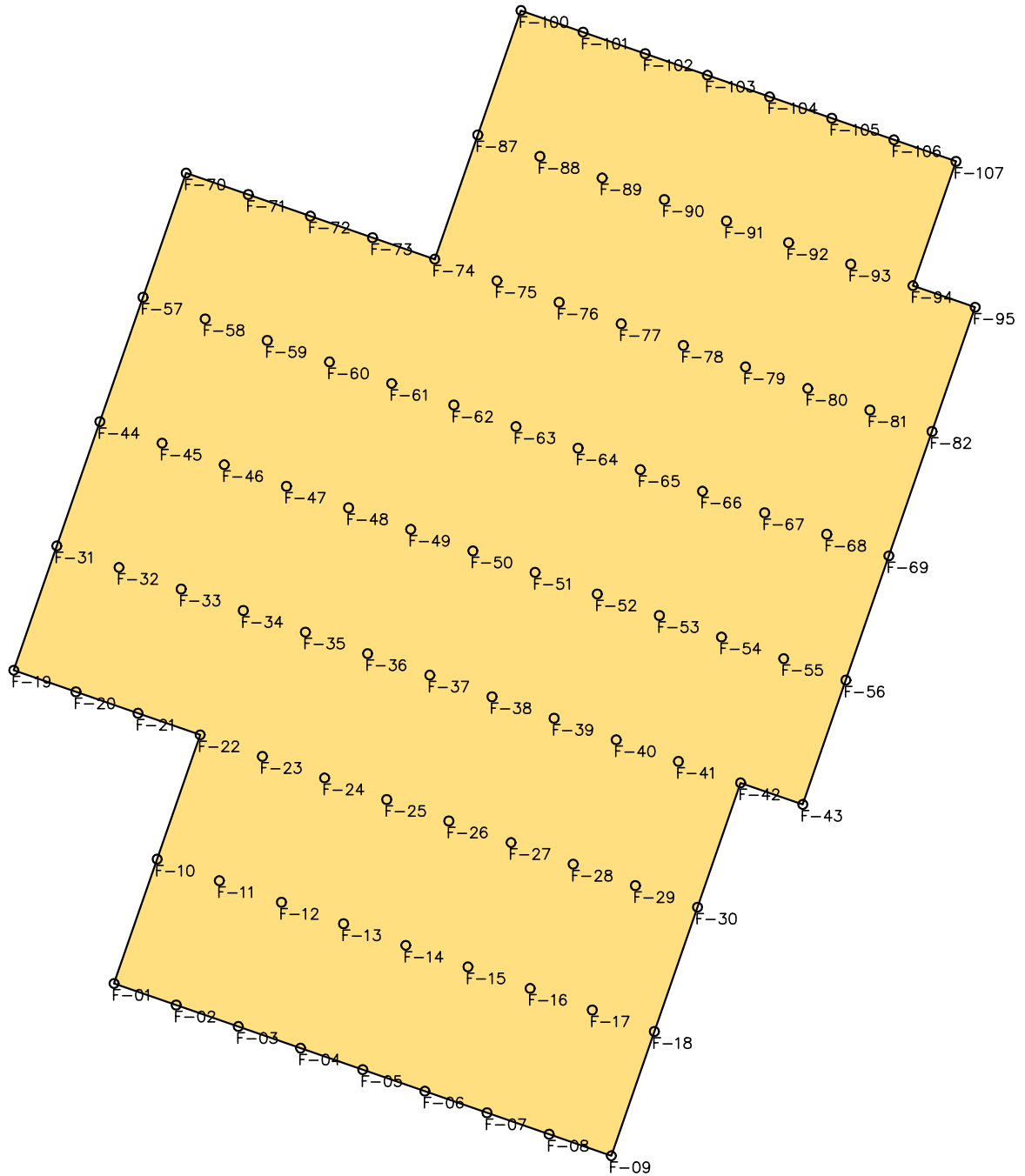
JAN./2003

FIGURA N° :

3.7



JAZIDA-03



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

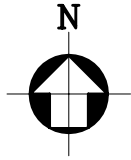
1:5.000

DATA:

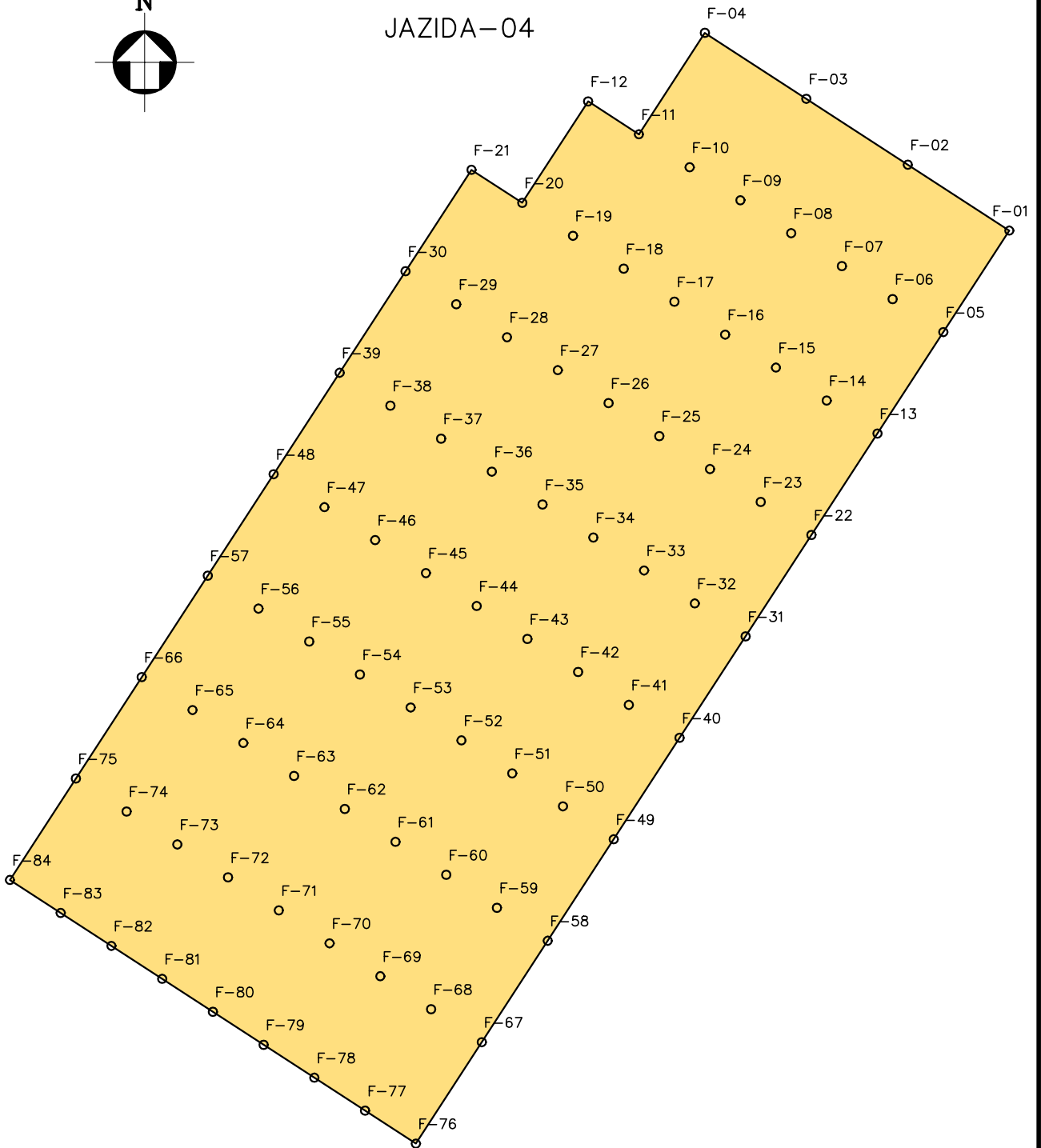
JAN./2003

FIGURA Nº :

3.8



JAZIDA-04



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

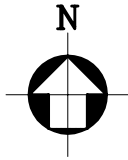
1:5.000

DATA:

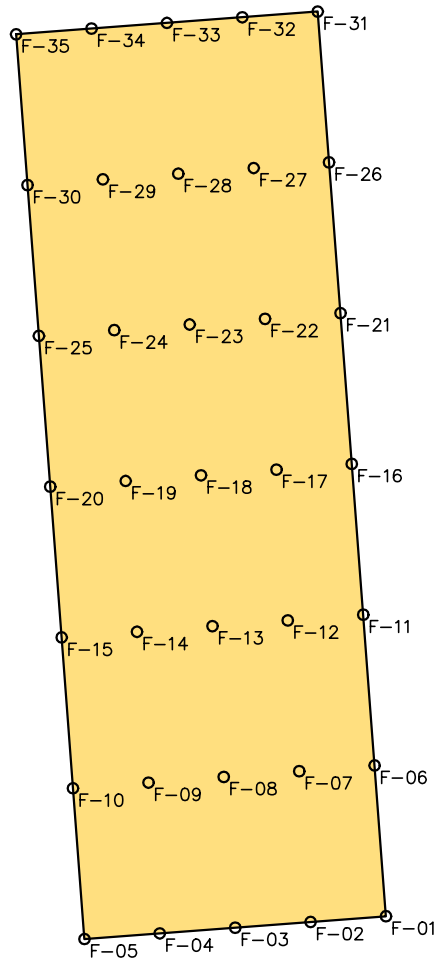
JAN./2003

FIGURA N° :

3.9



JAZIDA-05



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:5.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA N° :

3.10

**RESUMO DOS ENSAIOS**

PROJETO: BARRAGEM CEARÁ

LOCAL: JAZIDA: 01

FURO		05	09	11	16	23	32	37	39	45	50	
PROFUNDIDADE (m)		0,80	0,60	0,60	0,60	1,20	1,10	0,60	1,10	0,50	0,90	
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	100	100	100	100	100	100	100	97	100	100
		3/4"	100	100	100	100	98	100	100	88	100	100
		1/2"	100	99	98	100	98	100	98	87	99	99
		3/8"	99	97	93	100	98	99	95	85	99	98
		Nº 4	92	89	88	96	92	92	89	84	98	92
		Nº 10	79	68	81	90	79	79	84	74	89	86
	FINA	Nº 40	53	23	55	58	48	53	58	51	64	61
		Nº 100	37	13	40	42	33	36	43	36	52	47
		Nº 200	29	11	35	36	26	29	37	31	47	41
LL	37,1	NL	37,0	32,2	34,1	33,2	40,1	36,0	42,1	36,0		
LP	28,2	NP	24,9	24,1	24,1	24,9	28,1	26,0	26,0	26,1		
IP	8,9	NP	12,1	8,1	10,0	8,3	12,0	10,0	16,1	9,9		
U.S.C.	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM		
PESO ESPECÍFICO MAX. (g/cm³)	1,915	1,887	1,837	1,783	1,902	1,957	1,830	1,731	1,826	1,832		
UMIDADE ÓTIMA (%)	10,40	9,00	15,30	10,00	17,40	11,40	15,20	13,30	14,40	14,80		
PERMEABILIDADE (cm/s)		9,6E-07					6,6E-07		5,2E-07			
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)		2,620					2,600		2,580			
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm(%)		03					26		36			
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)		1,641		1,424		1,552		1,494		1,501		
UMIDADE NATURAL (%)		3,10		3,50		4,10		3,50		2,90		

PROJETO:	BARRAGEM CEARÁ	RESUMO DOS ENSAIOS	
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH	LOCAL:	JAZIDA 01	DATA: JUL/2001
		MW / ENGESOFT	TABELA: 3.6

**RESUMO DOS ENSAIOS**

PROJETO: BARRAGEM CEARÁ

LOCAL: JAZIDA: 01

FURO	55	60	64	71	75	83	86	90			
PROFUNDIDADE (m)	0,60	1,10	1,40	1,60	1,20	0,80	1,30	1,20			
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100		
		3"	100	100	100	100	100	100	100		
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100		
		2"	100	100	100	100	100	100	100		
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100		
		1"	100	100	100	100	100	100	100		
		3/4"	100	99	100	100	99	100	100		
		1/2"	100	99	99	99	98	100	100		
		3/8"	100	99	99	97	96	100	99		
		Nº 4	99	97	97	92	89	100	99		
	Nº 10	89	89	88	85	71	99	91			
	FINA	Nº 40	55	60	61	61	31	77	63		
		Nº 100	31	44	48	48	18	56	51		
Nº 200		21	37	43	43	13	48	44			
LL	NL	40,1	44,1	36,0	28,1	44,1	44,1	37,2			
LP	NP	26,1	28,0	25,9	24,0	28,1	28,0	27,0			
IP	NP	14,0	16,1	10,1	4,1	16,0	16,1	10,2			
U.S.C.	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM			
PESO ESPECÍFICO MAX. (g/cm ³)	1,842	1,888	1,889	1,769	2,042	1,729	1,761	1,798			
UMIDADE ÓTIMA (%)	8,50	12,00	14,50	14,40	12,70	16,20	15,40	12,50			
PERMEABILIDADE (cm/s)	1,2E-06	5,8E-07		6,3E-07		4,8E-07					
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm ³)	2,620	2,600		2,580		2,580	2,570	2,580			
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm(%)	03	26		33		37	31	35			
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm ³)		1,583		1,490							
UMIDADE NATURAL (%)		3,50		3,90							

PROJETO:	BARRAGEM CEARÁ	RESUMO DOS ENSAIOS	
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH	LOCAL:	JAZIDA 01	DATA: JUL/2001
		MW / ENGESOFT	TABELA: 3.6

**RESUMO DOS ENSAIOS**

PROJETO: BARRAGEM CEARÁ

LOCAL: JAZIDA: 02

FURO	05	12	16	22	32	44	60	74	79	83		
PROFUNDIDADE (m)	0,60	1,20	1,00	0,70	0,60	0,60	1,20	0,60	1,20	1,30		
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
		3/4"	100	100	100	100	99	100	100	98	99	100
		1/2"	100	97	100	100	93	99	100	97	94	98
		3/8"	99	95	99	100	88	98	99	97	88	96
		Nº 4	97	91	97	100	80	93	98	92	77	86
		Nº 10	95	88	95	99	73	88	95	89	70	78
	FINA	Nº 40	71	52	72	69	37	68	74	58	50	63
		Nº 100	48	31	52	50	25	55	53	42	35	51
		Nº 200	42	25	46	43	20	49	45	36	29	46
LL	38,1	NL	42,1	36,1	NL	39,0	32,0	34,1	33,1	36,1		
LP	26,0	NP	26,0	26,0	NP	26,0	24,1	24,1	25,0	26,0		
IP	12,1	NP	16,1	10,1	NP	13,0	7,9	10,0	8,1	10,1		
U.S.C.	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM		
PESO ESPECÍFICO MAX. (g/cm ³)	1,714	2,009	1,797	1,776	1,848	1,676	1,830	1,936	1,812	1,659		
UMIDADE ÓTIMA (%)	15,20	10,90	16,80	14,40	11,30	15,00	13,10	13,10	13,50	15,80		
PERMEABILIDADE (cm/s)		1,5E-06	4,1E-07		1,7E-06		9,3E-07	5,2E-07		5,3E-07		
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm ³) SEDIMENTAÇÃO		2,610	2,220		2,620		2,590	2,600		2,580		
0,005mm(%)		08	34		06		24	24		35		
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm ³)		1,629		1,483		1,403						
UMIDADE NATURAL (%)		3,10		3,50		3,10	3,70					

PROJETO:	BARRAGEM CEARÁ	RESUMO DE ENSAIOS	
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH	LOCAL:	JAZIDA 02	DATA: JUL/2001
		MW / ENGESOFT	TABELA: 3.7

**RESUMO DOS ENSAIOS**

PROJETO: BARRAGEM CEARÁ

LOCAL: JAZIDA: 02

FURO		85	92	101	105	111	114	117			
PROFUNDIDADE (m)		0,90	0,40	0,60	1,30	1,20	1,30	0,60			
GRANULOMETRIA	GROSSA	3 1/2"	100	100	100	100	100	100	100		
		3"	100	100	100	100	100	100	100		
		2 1/2"	100	100	100	100	100	100	100		
		2"	100	100	100	100	100	100	100		
		1 1/2"	100	100	100	100	100	100	100		
		1"	100	100	100	100	100	100	100		
		3/4"	100	100	100	100	99	100	100		
		1/2"	96	100	100	100	91	100	99		
		3/8"	93	100	100	100	88	100	98		
		Nº 4	83	100	100	99	81	100	91		
	Nº 10	77	99	99	98	77	99	78			
	FINA	Nº 40	58	74	74	72	46	72	51		
		Nº 100	40	54	51	55	25	49	36		
Nº 200		34	51	41	48	19	39	29			
LL	34,1	46,0	42,1	43,1	NL	42,1	36,1				
LP	24,9	28,1	28,0	28,1	NP	28,0	26,0				
IP	9,2	17,9	14,1	15,0	NP	14,1	10,1				
U.S.C.	SM	SM	SM	SM	SM	SM	SM				
PESO ESPECÍFICO MAX. (g/cm³)	1,785	1,738	1,832	1,759	1,968	1,901	1,901				
UMIDADE ÓTIMA (%)	14,7	16,4	17,8	15,6	8,9	15,2	14,0				
PERMEABILIDADE (cm/s)			4,0E-07			4,0E-07					
PESO ESPECÍFICO DOS GRÃOS (g/cm³)			2,570	2,570	2,620	2,600					
SEDIMENTAÇÃO 0,005mm(%)			29	37	08	27					
PESO ESPECÍFICO NATURAL (g/cm³)	1,441	1,463		1,381							
UMIDADE NATURAL (%)	3,10	3,10		3,70							

PROJETO:	BARRAGEM CEARÁ	RESUMO DE ENSAIOS	
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS SRH	LOCAL:	JAZIDA 02	DATA: JUL/2001
		MW / ENGESOFT	TABELA: 3.7

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		03	13	23	34	37	52	63	74	79	
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	ATE	1,20	1,50	1,20	0,80	1,40	1,50	0,80	1,20	0,80	
ESTACA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
POSIÇÃO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	100	100	100	100	100	98	100	100	
		3/8"	98	98	99	98	99	97	95	100	97
		Nº 4	96	97	98	97	99	96	88	99	96
		Nº 10	92	94	97	94	97	92	81	97	93
		Nº 40	69	72	79	55	75	69	56	80	75
		Nº 200	38	46	42	20	34	35	26	34	35
LL		35	37	35	30	35	24	27	32	28	
IP		12	13	13	9	12	6	7	10	8	
IG		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRUPO USC		SC	SC	SC	SC	SC	SM	SM	SC	SM	
FAIXA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26 GOLPES	H ÓTIMA	11,7	12,3	11,4	11,2	11,8	10,6	10,0	12,7	10,8	
	D MÁXIMA	1.830	1.770	1.830	1.782	1.820	1.807	1.880	1.797	1.837	
	EXPANSÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	I.S.C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UMIDADE NATURAL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PROJETO: BARRAGEM CEARÁ					QUADRO RESUMO						
LOCAL: SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH					LOCAL: JAZIDA Nº 03			DATA: OUT./2002			
					MW/ENGESoft			FOLHA: TAB. 3.8			

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		88	91	107						
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10						
	ATE	0,80	0,80	1,20						
ESTACA										
POSIÇÃO										
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100					
		1"	100	100	100					
		3/8"	99	99	99					
		Nº 4	96	97	97					
		Nº 10	89	93	93					
		Nº 40	65	74	74					
		Nº 200	23	37	35					
LL		25	34	37						
IP		6	11	13						
IG		0	0	0						
EA		-	-	-						
GRUPO USC		SM	SC	SC						
FAIXA		-	-	-						
26 GOLPES	H ÓTIMA	10,4	11,3	11,6						
	D MÁXIMA	1.867	1.837	1.850						
	EXPANSÃO	-	-	-						
	I.S.C	-	-	-						
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-						
UMIDADE NATURAL		-	-	-						

PROJETO:

BARRAGEM CEARÁ**QUADRO RESUMO**

LOCAL:

**SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS
SRH**

LOCAL:

JAZIDA Nº 03DATA:
OUT./2002**MW/ENGESOF**FOLHA:
TAB. 3.8



MONTGOMERY WATSON

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		06	09	19	26	33	37	44	53	60	
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	ATE	1,00	1,20	0,80	0,70	1,10	1,20	0,90	0,90	0,70	
ESTACA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
POSIÇÃO		E	X	D	X	E	D	X	X	E	
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	100	100	100	100	100	100	100	97	
		3/8"	99	96	100	99	100	100	93	94	93
		Nº 4	97	94	99	98	99	99	86	92	91
		Nº 10	94	92	97	95	97	96	84	90	88
		Nº 40	70	75	73	72	70	79	66	70	70
		Nº 200	27	40	35	32	33	39	35	33	34
LL		27	33	25	33	29	31	36	25	28	
IP		7	10	6	10	8	9	12	6	8	
IG		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRUPO USC		SM	SC	SM	SM	SM	SC	SC	SM	SM	
FAIXA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26 GOLPES	H ÓTIMA	9,8	12,1	8,0	11,7	10,3	10,6	10,8	9,4	10,8	
	D MÁXIMA	1.820	1.840	1.840	1.852	1.815	1.805	1.820	1.846	1.837	
	EXPANSÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	I.S.C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UMIDADE NATURAL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PROJETO: BARRAGEM CEARÁ					QUADRO RESUMO						
LOCAL: SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH					LOCAL: JAZIDA Nº 04			DATA: OUT./2002			
					MW/ENGESOPT			FOLHA: TAB. 3.9			



MONTGOMERY WATSON

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		65	67	81						
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10						
	ATE	1,40	0,50	0,70						
ESTACA										
POSIÇÃO		D	E	D						
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100					
		1"	100	100	100					
		3/8"	97	100	97					
		Nº 4	97	99	93					
		Nº 10	95	94	88					
		Nº 40	77	71	62					
		Nº 200	39	29	27					
LL		37	NL	34						
IP		13	NP	11						
IG		0	0	0						
EA		-	-	-						
GRUPO USC		SC	SM	SC						
FAIXA		-	-	-						
26 GOLPES	H ÓTIMA	11,4	8,8	11,8						
	D MÁXIMA	1.832	1.832	1.800						
	EXPANSÃO	-	-	-						
	I.S.C	-	-	-						
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-						
UMIDADE NATURAL		-	-	-						
PROJETO: BARRAGEM CEARÁ					QUADRO RESUMO					
LOCAL: SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH					LOCAL: JAZIDA Nº 04			DATA: OUT./2002		
					MW/ENGESOFT			FOLHA: TAB. 3.9		



MONTGOMERY WATSON

Engesoft
Engenharia e Consultoria Ltda**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		01	07	10	12	18	20	22	25	28	
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	
	ATE	0,50	0,70	0,90	1,00	0,70	0,60	1,40	1,00	1,40	
ESTACA											
POSIÇÃO											
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100	100	100	100	100	100	100	100	
		1"	98	100	100	100	100	100	100	100	
		3/8"	94	100	100	100	100	99	100	100	98
		Nº 4	91	100	100	98	99	98	99	100	95
		Nº 10	89	95	95	94	95	95	93	94	91
		Nº 40	65	76	66	73	69	75	79	67	71
		Nº 200	29	34	32	34	33	36	36	33	39
LL		28	32	29	34	31	36	28	33	29	
IP		8	10	9	10	9	11	8	10	8	
IG		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
EA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRUPO USC		SM	SC	SM	SC	SM	SC	SM	SC	SM	
FAIXA		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
26 GOLPES	H ÓTIMA	9,8	11,6	10,0	9,2	9,8	10,0	10,4	11,3	9,8	
	D MÁXIMA	1.881	1.877	1.863	1.840	1.830	1.820	1.841	1.811	1.880	
	EXPANSÃO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	I.S.C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
UMIDADE NATURAL		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
PROJETO: BARRAGEM CEARÁ						QUADRO RESUMO					
LOCAL: SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH						LOCAL: JAZIDA Nº 05			DATA: OUT./2002		
						MW/ENGESOPT			FOLHA: TAB. 3.10		



MONTGOMERY WATSON

**QUADRO RESUMO**

FURO Nº		34								
PROFUNDIDADE (Cm)	DE	0,10								
	ATE	0,60								
ESTACA										
POSIÇÃO										
GRANULOMETRIA	PASSANDO %	2"	100							
		1"	100							
		3/8"	100							
		Nº 4	99							
		Nº 10	93							
		Nº 40	63							
		Nº 200	31							
LL		29								
IP		7								
IG		0								
EA		-								
GRUPO USC		SM								
FAIXA		-								
26 GOLPES	H ÓTIMA	9,7								
	D MÁXIMA	1.860								
	EXPANSÃO	-								
	I.S.C	-								
GRAU DE COMPACTAÇÃO		-								
UMIDADE NATURAL		-								
PROJETO: BARRAGEM CEARÁ					QUADRO RESUMO					
LOCAL: SECRETARIA DOS RECURSOS HIDRICOS SRH					LOCAL: JAZIDA Nº 05			DATA: OUT./2002		
					MW/ENGESOFT			FOLHA: TAB. 3.10		



3.6.2. Areal

Os areais foram identificados e estudados para a execução do filtro vertical, dreno horizontal e concretos.

Os areais selecionados constam de: **A-1**- bancos de areia fina e média no leito do rio Cauhípe, na localidade de Lagoa Nova, a cerca de 12 km de distancia para a barragem; **A-2**- bancos de areia fina e média no leito do rio São Gonçalo, na localidade de Umari, a cerca de 32 km distante da barragem e **A-3**- bancos de areia fina e média no leito do riacho Capitão Mor, próximos da Fazenda Patos, distantes cerca de 41 km para a barragem.

Foram coletadas amostras do areal do rio Cauhípe e São Gonçalo para a realização dos seguintes ensaios de laboratório:

- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 51-64)

Na Tabela Nº 3.11 são mostrados os resultados médios dos ensaios de laboratório realizados no Areal.

Tabela Nº 3.11- Valores Médios dos Ensaios dos Arais											
Areal	Granulometria passante (%)								D_{max} (mm)	M.F.	USC
	1/2"	3/8"	Nº4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100			
A-1	100	96	89	75	42	15	3	1	6,3	3,80	SP
A-2	100	98	93	78	54	25	5	1	4,8	3,46	SP

Além dos ensaios geotécnicos de laboratório anteriormente mencionados, foi realizado o ensaio de permeabilidade de carga constante. Como este ensaio não se encontra normalizado, foi realizado por técnicas usuais, recomendados por literatura. O valor médio encontrado é mostrado na Tabela nº 3.12.

Tabela Nº 3.12- Valores Médios dos Ensaios Especiais do Areal	
Areal	Coefficiente de Permeabilidade (cm/s)
A-01	9,1x10E-3
A-02	8,9x10E-3



3.6.3. Pedreira

A fonte inicial de obtenção de materiais pétreos são as escavações obrigatórias do sangradouro, situado na ombreira direita entre as estacas 72+10 e 78+10. Após o esgotamento do material desta escavação indica-se a exploração da pedreira P-01, que fica sujeita a avaliação do nível de interferência com os trabalhos de execução do maciço entre as estacas 40 e 72. Esta pedreira tem como grande atrativo a proximidade e conseqüentemente a baixa distância de transporte. No caso de que seja considerado inconveniente o emprego da pedreira P-01 sugere-se o uso da pedreira P-03, situada dentro da área do reservatório, constituída de rocha granítica, com semelhantes características às da pedreira P-01, distante 1,8 Km para a barragem. A pedreira P-03 encontra-se entre o rio Ceará e a ombreira direita do açude Munquem, com extensos afloramentos situados muito próximos da casa do proprietário do açude.

Como uma última alternativa, foi localizado um afloramento de rocha granítica de cor cinza e rosa, situado na lado esquerdo do rio a cerca de 2,8 Km do eixo, dito pedreira P-02. Neste local, com afloramentos analisados visualmente com são, foram realizadas duas sondagens mecânicas entre os afloramentos. A primeira(FP-01) revelou uma cobertura de solo de 2,40m e uma rocha com grau de alteração entre moderadamente intemperizada e são, porém muito fraturada até a profundidade de 8,0 m. A segunda (FP-02) indicou 2,18 m de solo e uma rocha com uma zona de 1,0 m onde encontra-se decomposta, com presença de silte e argila, seguida de uma zona de 3,0 m de espessura, onde apresenta-se macia e muito alterada e, subjacente a esta, uma zona dura e são.

Foram coletadas amostras na pedreira P-02 para a realização do ensaio de desgaste por abrasão “Los Angeles”(DNER-NE 65-64) porque, em relação ao 1º eixo estudado, ficava mais viável que as demais ocorrências. Na tabela nº 3.13 é apresentado o valor médio do ensaio. Na figura 3.11 é apresentada a planta de situação das pedreiras . .

Tabela Nº 3.13- Valores Médios dos Ensaio da Pedreira P-03

Abrasão Los Angeles (%)
23,9



Todos os ensaios laboratoriais são apresentados no Tomo 4 A- Geologia e Geotecnia-Anexos.

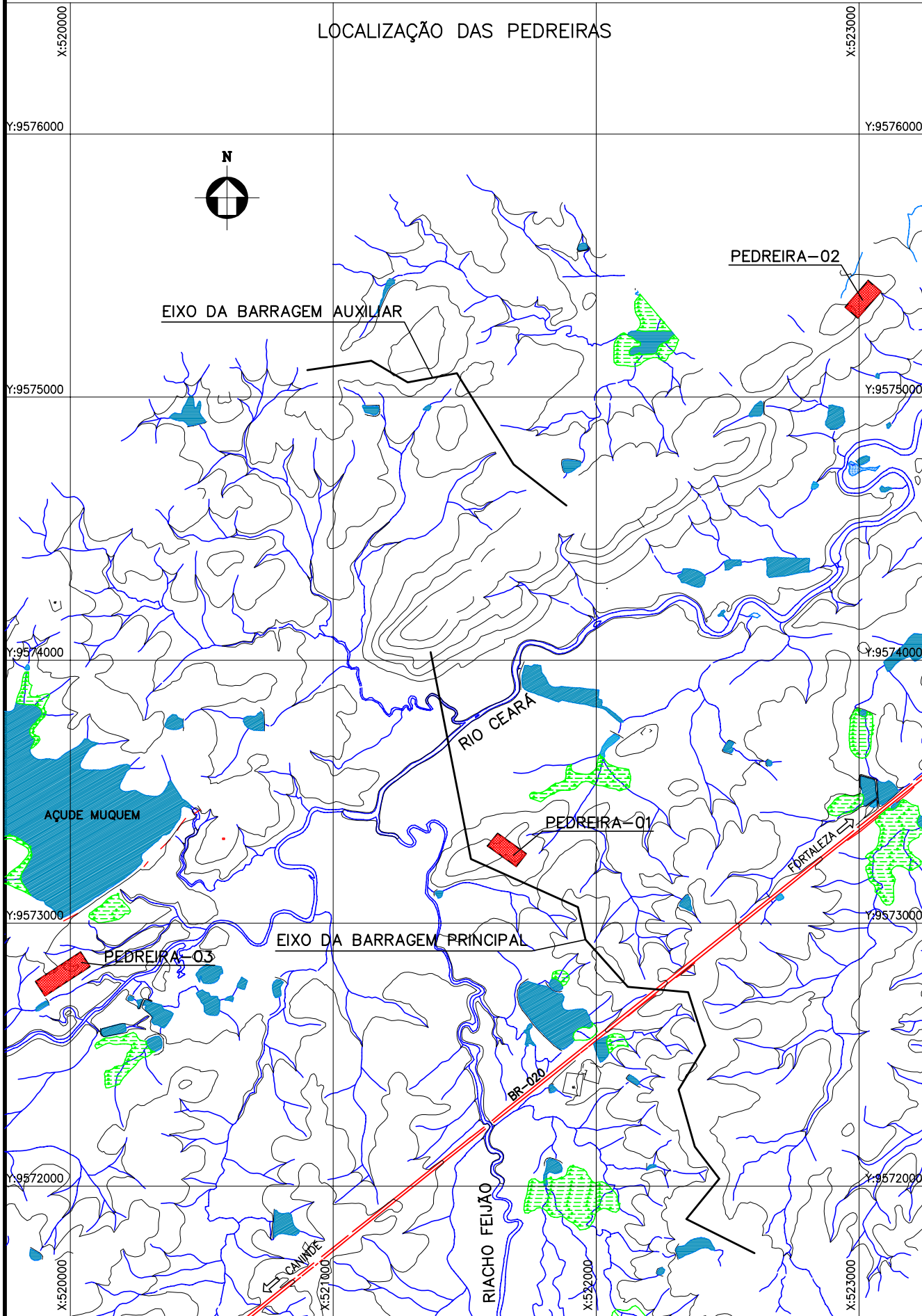
3.6.4. Comentários

As observações de campo associadas aos exames dos ensaios laboratoriais permitem os seguintes comentários acerca dos materiais construtivos estudados para a barragem Ceará:

- a) As caracterizações realizados (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01, J-02, J-03, J-04 e J-05 , permitiram enquadrar os materiais estudados nos grupos SM (areia siltosa) e SC (areia argilosa) da “Classificação Unificada USC”.

O enquadramento do solos na “Classificação Unificada USC” possibilita estimar suas características no que concerne a sua utilização na construção de barragens de terra. Segundo Sherard ¹, os solos do tipo SM e SC apresentam as seguintes características:

LOCALIZAÇÃO DAS PEDREIRAS



MONTGOMERY WATSON



BARRAGEM CEARÁ

ESCALA:

1:20.000

DATA:

JAN./2003

FIGURA Nº :

3.11

**Solo SM**

- Média a fraca resistência à erosão.
- Alta resistência ao cisalhamento.
- Semi-permeável a Impermeável.
- Boa a regular trabalhabilidade.

Solo SC

- Alta resistência à erosão.
- Alta a média resistência ao cisalhamento.
- Impermeável a Impermeável.
- Regular trabalhabilidade.

As propriedades acima citadas são esperáveis para obras em que sejam feitos controles de umidade e densidade durante a construção. Para orientação destes controles são apresentados na Tabela nº 3.14 os valores médios da massa específica seca (M.E.S.) máxima ($\gamma_{sm\acute{a}x}$) e a umidade ótima (h_{ot}), obtidas nos ensaios de compactação das jazidas.

Tabela Nº 3.14: Ensaios de Laboratório de Compactação

Discriminação	Jazidas				
	J-01	J-02	J-03	J-04	J-05
M.E.S. máx (g/cm ³)	1,845	1,820	1,830	1,828	1,850
Umidade Ótima (%)	13,2	14,2	11,32	10,46	10,16

a) As jazidas J-01, J-02, J-03 e J-04 tem características apropriadas para uso em qualquer local do maciço da barragem no entanto, sugere-se o uso de todo o volume possível do material da jazida J-01 e o emprego, na área do espaldar de jusante, das escavações em solo, obrigatórias do sangradouro. Somente após o uso pleno destes materiais é que devem ser utilizados os solos das outras jazidas citadas, devido a grande distância de transporte.



b) A jazida J-05 apresenta uma predominância de material siltoso e portanto com características geotécnicas inferiores as das demais jazidas. Portanto sugere-se o emprego deste material em pequenos diques de fechamento da ombreira direita.

c) O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção prioritária a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta características apropriadas para tais fins. Selecionou-se uma região situada a cerca de 100m a jusante da estaca 45, distando cerca de 500m para o rio Ceará, e outra a 1,8 km a montante da ombreira esquerda como pedreiras complementares.

d) Os bancos de areia dos rios Cauhípe e São Gonçalo com permeabilidade média de 9×10^{-3} , são apropriados como fonte de suprimento de agregado miúdo para os concretos e para elemento drenante/ filtrante do sistema de drenagem interna do maciço. Como a região sofre uma contínua exploração comercial deste material, indicou-se o rio Capitão Mor como reforço para suprimento de areia.



MONTGOMERY WATSON



4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS



4. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

4.1. INTRODUÇÃO

A realização dos estudos hidrológicos da Barragem Ceará, teve como finalidade, a obtenção dos elementos hidrológicos para o dimensionamento do reservatório e das estruturas hidráulicas de descarga da obra.

No desenvolvimento do trabalho foram realizados os seguintes estudos:

Ficha Hidrológica e Curvas Cota x Área x Volume;

Caracterização da Bacia Hidrográfica;

Caracterização Climática;

Estudo de Chuvas Intensas;

Estudos de Deflúvios;

Estudo de Cheias de Projeto;

Dimensionamento do Reservatório;

Estudos Adicionais.

4.2. FICHA HIDROLÓGICA E CURVAS COTA X ÁREA X VOLUME

A seguir é apresentado a Ficha Hidrológica da Barragem Ceara trazendo as principais informações coletadas e as calculadas, como também a tabela

Já na Tabela 4.1 é apresentada a curva Cota x Área x Volume e na Figura 4.1, são apresentadas as curvas Cota x Área x Volume.

**FICHA HIDROLÓGICA****Açude Ceará**

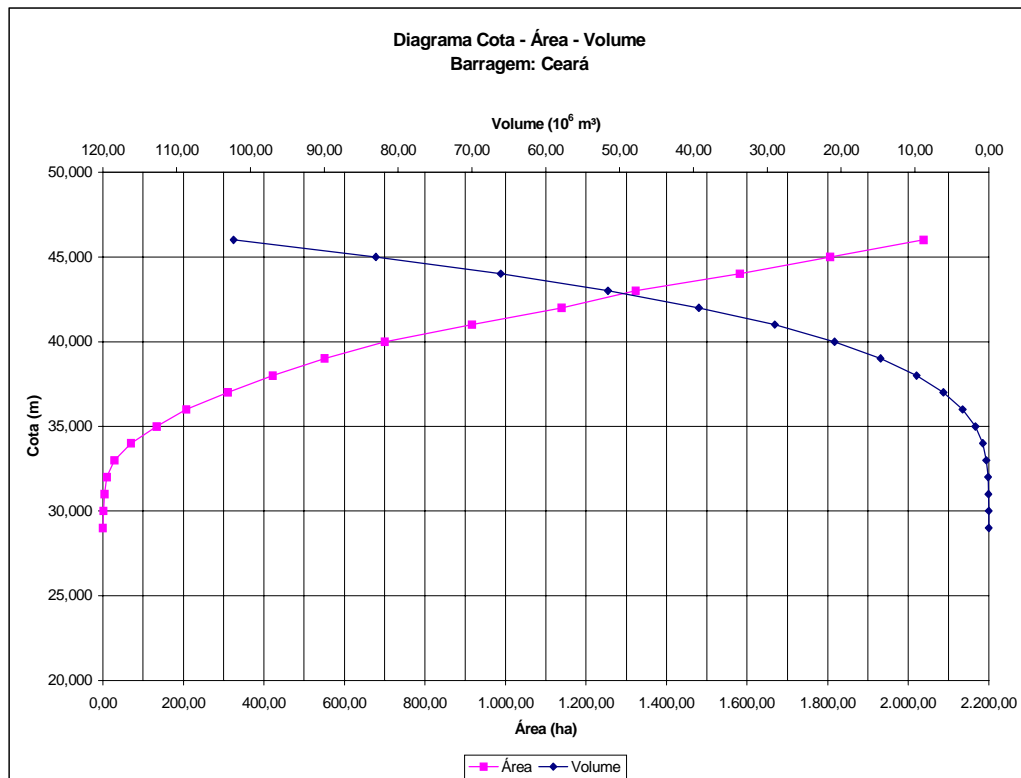
Município	Caucaia
Rio ou Riacho Barrado	Ceará
Área da Bacia Hidrográfica	232 km ²
Comprimento do Talvegue Principal	26,5 km
Desnível do Talvegue Principal	143 m
Precipitação Média Anual	1.392,4 mm
Escoamento Médio Anual	320,2 mm
Evaporação Média Anual(Tanque Classe A)	1.469,2 mm
Vertedouro Tipo.....	Perfil Creager
Cota do Vertedouro	43,00 m
Largura do vertedouro.....	120 m
Comprimento/Declividade Longitudinais do Vertedouro.....	300 m/0,0 %
Volume Máximo de Acumulação (Cota 43,00)	51,58 hm ³
Vazão Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos.....	870 m ³ /s
Cota Máxima de Cheia - TR = 1.000 anos.....	44,00 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos.....	1.177 m ³ /s
Cota Máxima de Cheia - TR = 10.000 anos.....	45,04 m
Vazão Regularizada com 90% de Garantia.....	1,08 m ³ /s
Vazão Regularizada com 95% de Garantia.....	0,93 m ³ /s
Vazão Regularizada com 99% de Garantia.....	0,770m ³ /s



Tabela 4.1

COTA - ÁREA - VOLUME			
Cota(m)	Área (ha)	Volume (hm ³)	Volume Acum.(hm ³)
29,0	0,00	0,00	0,00
30,0	1,368	0,007	0,007
31,0	4,497	0,029	0,036
32,0	10,324	0,074	0,110
33,0	29,329	0,198	0,308
34,0	69,814	0,496	0,804
35,0	134,176	1,019	1,824
36,0	207,584	1,708	3,533
37,0	310,002	2,587	6,120
38,0	424,03	3,662	9,782
39,0	550,993	4,866	14,649
40,0	699,787	6,253	20,903
41,0	916,973	8,083	28,987
42,0	1139,288	10,281	39,268
43,0	1581,414	12,313	51,582

Figura 4.1





4.3. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Neste item são abordados os principais aspectos fisiográficos e hidroclimatológicos da bacia hidrográfica do açude Ceará, que barra o rio de mesmo nome nas coordenadas UTM N 9.573.719 e E 521.435. A barragem situa-se próxima à localidade Muquém, no município de Caucaia, pertencendo à microrregião geográfica de Fortaleza.

a) Sistema de Drenagem e Açudes Existentes

A bacia hidrográfica do açude Ceará tem como principal contribuinte riacho homônimo, abrangendo uma área de contribuição de 232 Km². O rio Ceará se estende na direção sul-nordeste, perfazendo, aproximadamente, 26,67 Km do ponto mais a montante do sistema de drenagem até o eixo da barragem.

Para a identificação dos açudes existentes a montante da barragem Ceará foram utilizadas 2 (duas) fontes de dados, quais sejam: a Carta da SUDENE de Fortaleza, escala 1:100.000, e as imagens de satélite TM/Landsat, para o ano de 1996, adquiridas quando da elaboração do Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia Metropolitana, COGERH (2000)¹. Em ambas as fontes de dados foram identificados 12 (doze) açudes a montante da barragem proposta, são eles: Água Boa, Bom Princípio, da Pedra, do Sítio, do Toque, dos Macacos, Geramataia, Ipueira, Leocádio, Massapê, Muquém e Pão de Açúcar. Existem pelo menos mais outros 6 (seis) pequenos açudes a montante da barragem Ceará, mas de porte insignificante perante os 12 açudes mencionados anteriormente. De acordo com as imagens de satélite, as quais representam o cenário do uso do solo em setembro de 1996, portanto na estação seca, a área total dos 12 espelhos d'água localizados a montante do açude Ceará perfaziam uma área de 443,5 ha, sendo que a menor área pertence ao açude Leocádio, com 12 ha de espelho, enquanto que o açude de maior área de espelho d'água é o açude do Toque, com 72 ha.

A Figura 4.2 apresenta o sistema de drenagem da bacia contribuinte ao açude Ceará e região adjacente.

¹ COGERH, 2000. *Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia Metropolitana*.



b) Solos e Cobertura Vegetal

As informações sobre os tipos de solos predominantes na região da barragem Ceará foram extraídas do Mapa de Solos do Estado do Ceará, da Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária, na escala 1:800.000.

Os solos presentes na bacia de drenagem do açude Ceará são predominantemente associações de Planossolo Solódico + Solonetz Solodizado (PLS9) e de Bruno Não Cálcico + Planossolo Solódico (NC33), e solos do tipo Vertissolos (V7), abrangendo em conjunto cerca de 65% da área da bacia hidrográfica. São solos que se caracterizam pelo alto potencial de escoamento superficial, com baixa taxa de infiltração e transmissão da água. Com menor representatividade tem-se os Planossolos Solódico (PLS5) e associações de solos Aluviais Eutróficos + Solonetz Solodizado (Ae16), abrangendo em conjunto cerca de 2% da bacia hidrográfica do açude Ceará. A Tabela 4.2, a seguir, apresenta a distribuição dos solos presentes na bacia hidrográfica do açude Ceará.

Ressalta-se que a bacia hidráulica do açude Ceará inundará região cujos solos dominantes são associações de Solos Aluviais Eutróficos + Solonetz Solodizado (Ae16) e de Planossolo Solódico + Solonetz Solodizado (PLS9), como pode ser visto na Figura 4.3, a qual apresenta mapa com a distribuição das manchas de solos presentes na bacia hidrográfica do açude Ceará.

Tabela 4.2: Manchas de solos existentes na bacia hidrográfica do açude Ceará.

Mancha de Solos	Área (ha)	Distribuição (%)
PLS9 - Assoc. de Planossolo Solódico + Solonetz Solodizado	5.698	24,6
NC33 - Assoc. de Bruno Não Cálcico + Planossolo Solódico	5.328	23,0
V7 - Vertissolo	3.905	16,9
Re31 - Assoc. de Solos Litólicos + Podzólico Vermelho-Amarelo	2.295	9,9
PE20 - Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico	1.703	7,4
NC19 - Assoc. de Bruno Não Cálcico + Solos Litólicos Eutróficos	1.535	6,6
PLS13 - Assoc. de Planossolo Solódico + Solos Litólicos Eutróficos	828	3,6
Re48 - Associação de Solos Litólicos Eutróficos + Afloramentos Rochosos	771	3,3
PE92 - Assoc. de Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico + Solos Litólicos	623	2,7
PLS5 - Planossolo Solódico	403	1,7
Ae16 - Assoc. de Solos Aluviais Eutróficos + Solonetz Solodizado	50	0,2

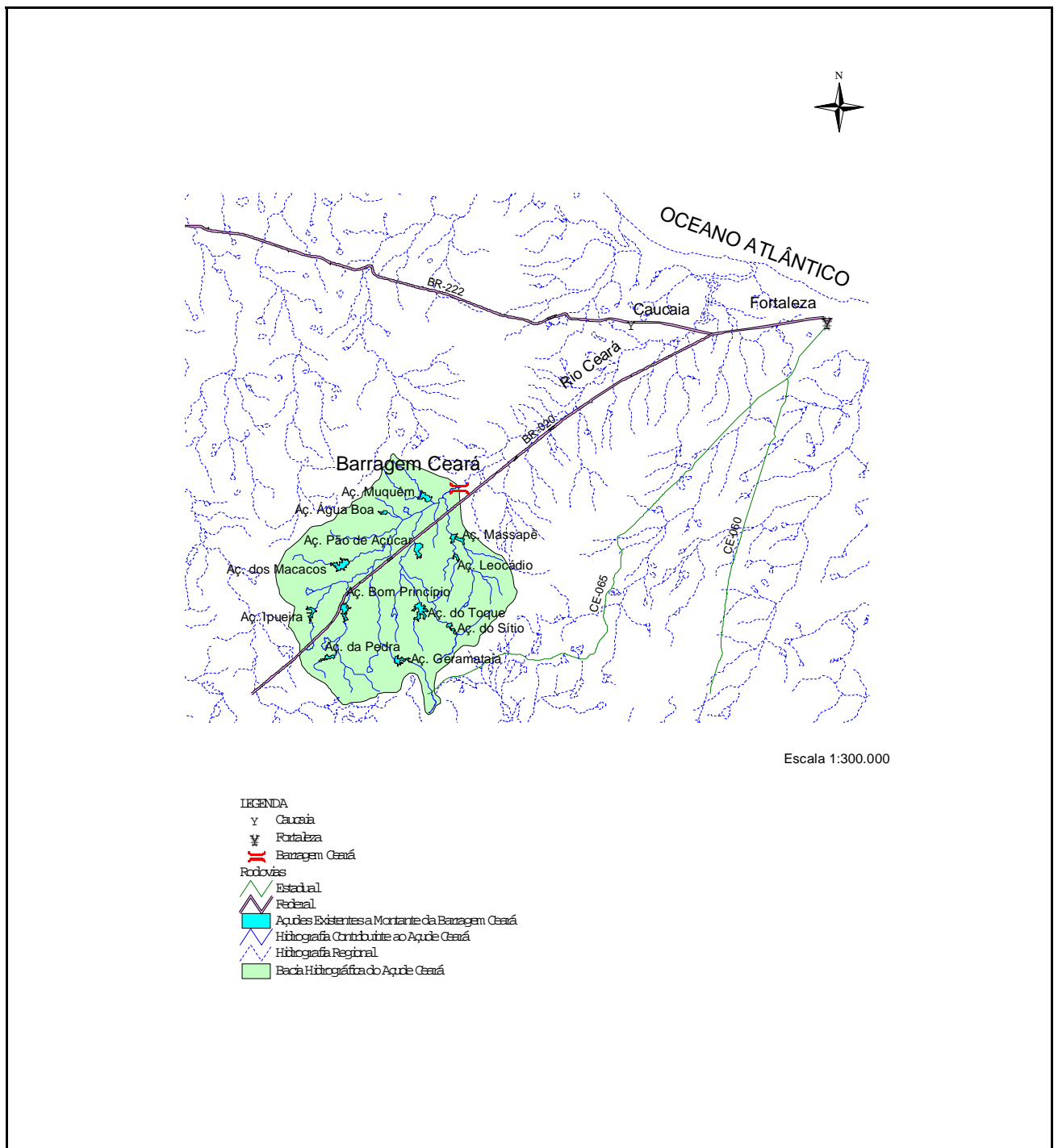


Figura 4.2 – Sistema de drenagem e açúdes existentes na bacia hidrográfica do Açude Ceará.

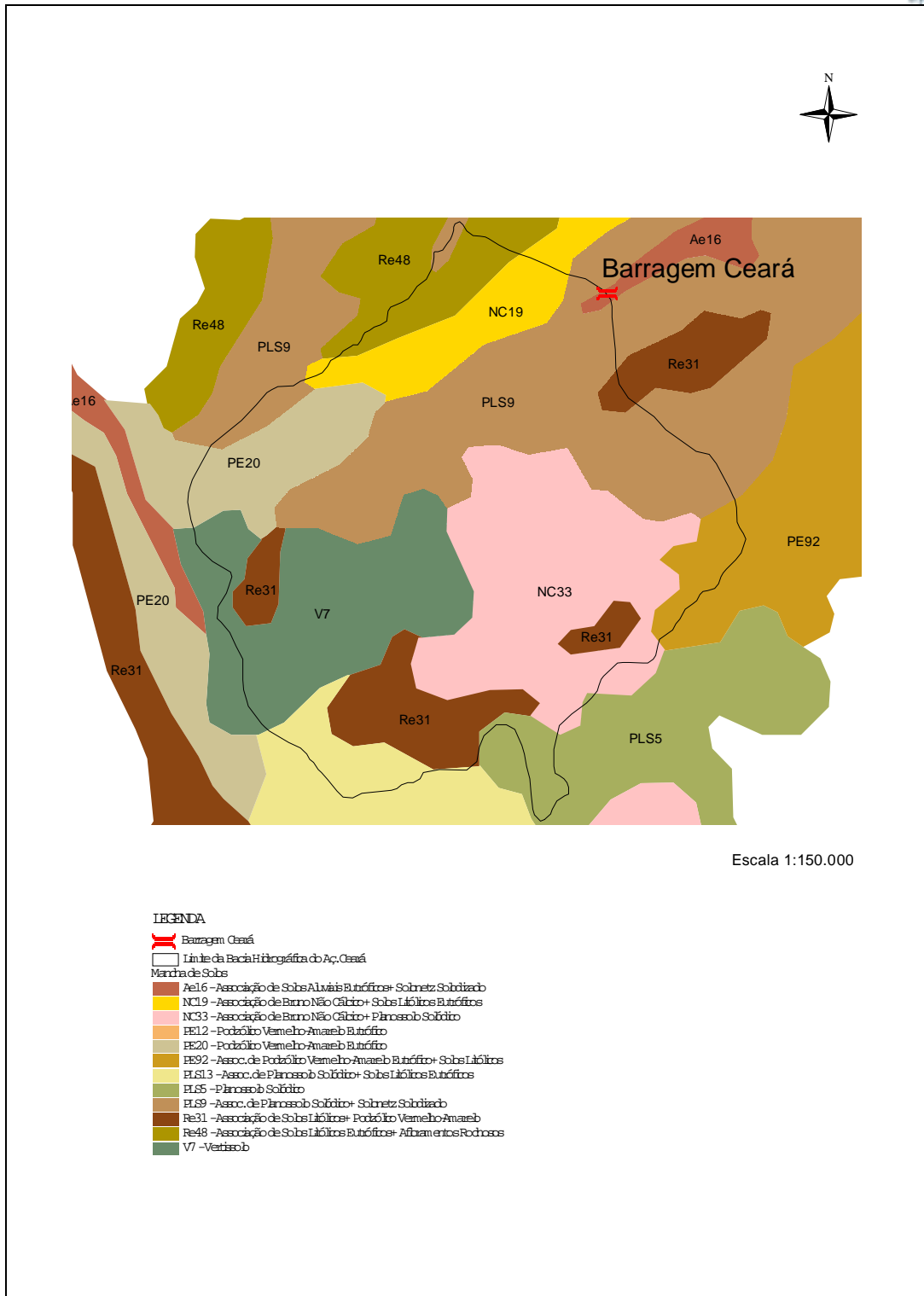


Figura 4.3 – Manchas de Solos na bacia hidrográfica do açude Ceará.



A caracterização da cobertura vegetal e uso do solo para a bacia hidrográfica do açude Ceará foi obtida a partir das imagens de satélite TM/Landsat, para o ano de 1996, adquiridas quando da elaboração do Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia Metropolitana, COGERH (2000). A Tabela 4.3, a seguir, apresenta a configuração do uso do solo na bacia hidrográfica do açude Ceará, podendo a mesma ser visualizada pela Figura 4.4.

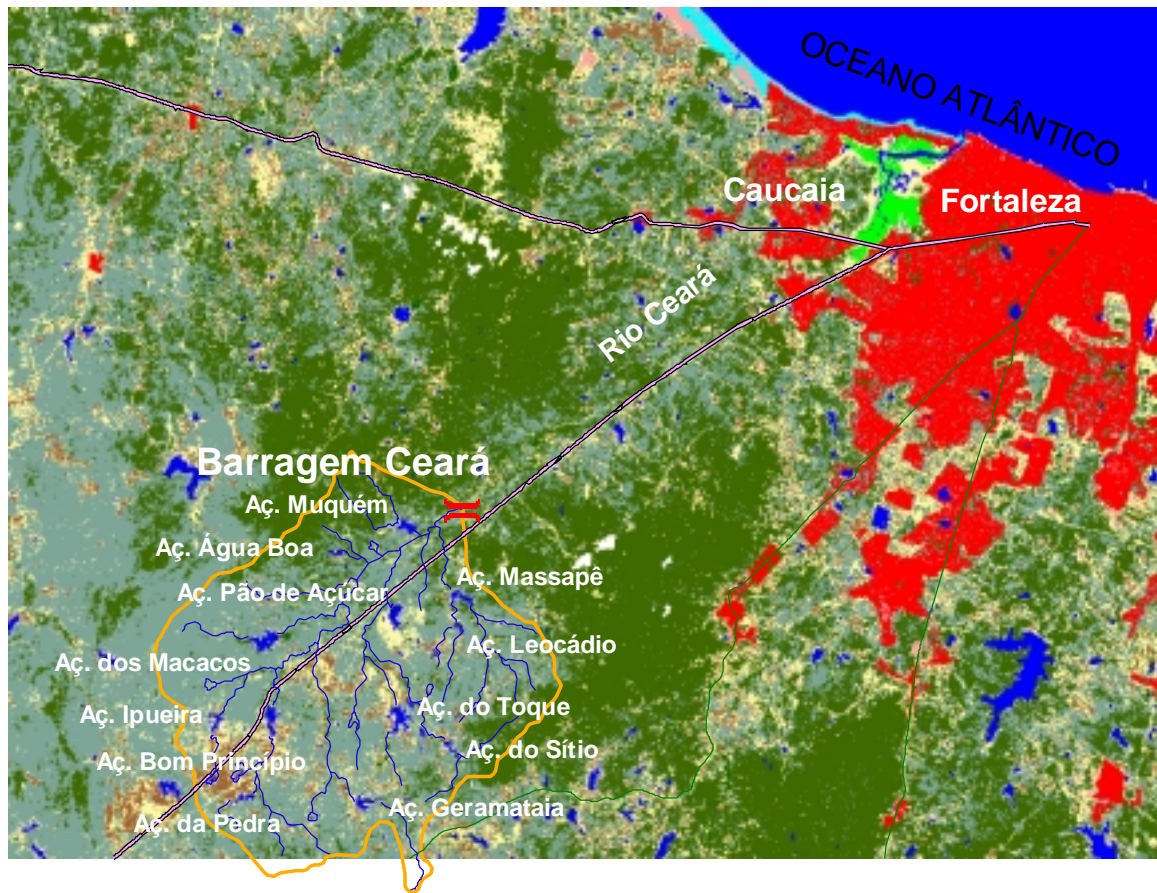
Tabela 4.3: Configuração do uso do solo na bacia hidrográfica do açude Ceará, de acordo com as imagens de satélite TM/Landsat, para o ano de 1996 (COGERH, 2000).

Uso do Solo	Área (m ²)	% do Uso do Solo em Relação à Área da Bacia Hidrográfica
Sem Dado	131.400	0,06
Caatinga Arbórea Densa	44.062.200	19,32
Caatinga Herbáceo Arbustiva	133.363.800	58,47
Açudes e espelhos d'água > 5ha	5.735.700	2,51
Área Agrícola	13.437.900	5,89
Solo Exposto	6.300	0,00
Área Alterada/Antropizada	30.998.700	13,59
Mata Ciliar	345.600	0,15
Total	228.081.600	100,00

Nota-se pelas informações apresentadas na Tabela 4.3 que a região da bacia de drenagem do açude Ceará possui bom estado de preservação das matas virgens, pois aproximadamente 80% da área são cobertos por caatinga arbórea densa e caatinga herbáceo arbustiva. No entanto, como as áreas identificadas como antropizadas e as áreas agrícolas representam cerca de 19,5% da área da bacia hidrográfica, deve haver uma preocupação crescente com relação ao adequado manejo do solo na região.



Figura 4.4 – Cobertura Vegetal e Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Açude Ceará



Escala 1:300.000

LEGENDA

- Barragem Ceará
- Hidrografia
- Rodovias
 - Estadual
 - Federal
- Limite Bacia Hidrográfica do Aç. Ceará
- Uso do Solo
 - Catinga Arbórea Densa
 - Catinga Herbácea Arbustiva
 - Açudes e Lagos
 - Área Agrícola
 - Solo Exposto
 - Área Alterada
 - Mata Ciliar
 - Área Urbana
 - Nuvem
 - Vegetação Litorânea
 - Mangue
 - No Data



c) Geologia e Geomorfologia

A barragem Ceará encontra-se inserida dentro da unidade estratigráfica Complexo Nordeste, ocorrendo a leste e a oeste afloramentos de rochas do grupo Barreiras e de forma isolada rochas vulcânicas. Estruturalmente o embasamento apresenta um intenso fraturamento em todas as direções, formando mosaico de blocos, e com freqüentes falhamentos profundos.

d) Determinação do Número CN

CN ou *Curve-Number* é o parâmetro de abstração do Método *Curve-Number* do *Soil Conservation Service* – SCS utilizado neste trabalho para estimativa da precipitação efetiva, aquela parcela da chuva que, de fato, contribui para a geração do escoamento superficial, sendo deduzidas as perdas por interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração.

Este método baseia-se no cálculo da chuva efetiva em função da altura total de chuva e do parâmetro de abstração CN. A determinação deste coeficiente depende das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: grupo hidrológico de solos (função da permeabilidade), uso do solo e do tratamento agrícola, condição da superfície subterrânea e condição de umidade antecedente. As 2 últimas propriedades foram consideradas como do tipo condições de umidade antecedente normal, para as quais tem-se os valores de CN tabelados de acordo com o grupo hidrológico e o uso do solo. O Quadro, a seguir, apresenta a descrição de cada grupo hidrológico de solo considerado pelo Método CN.

As informações sobre o grupo hidrológico para a região da bacia hidrográfica do açude Ceará foram obtidas a partir da classificação de solos quanto à permeabilidade para a bacia da região metropolitana, apresentada no Plano Estadual de Recursos Hídricos (1992)². De acordo com estas informações, a bacia constitui-se de solos tipo C, predominando em cerca de 69% da área da bacia hidrográfica, e de solos tipo D, o qual abrange os restantes 31%.

² CEARÁ, SRH, 1992. *Plano Estadual dos Recursos Hídricos*.



Tabela 4.4: Grupos hidrológicos de solos de acordo com a classificação adotada pelo Método CN.

Grupo Hidrológico do Solo	Descrição
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos do que o 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.

Fonte: TUCCI, C.E.M. (org.), 1993. Hidrologia: Ciência e Aplicação. ABRH/EDUSP.

Com relação às informações de uso do solo, foram extraídas das imagens de satélite TM/Landsat do Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia Metropolitana (2000), conforme já citado anteriormente, cuja classificação de uso do solo foi adaptada à classificação utilizada pelo Método *Curve-Number*. A tabela 4.5 apresenta a correlação utilizada neste trabalho entre a classificação do uso do solo das imagens de satélite TM/Landsat e a utilizada pelo Método CN.

Tabela 4.5. Correlação entre a classificação do uso do solo das imagens de satélite TM/Landsat e a utilizada pelo Método CN.

Uso do Solo na Imagem de Satélite TM/Landsat	Uso do Solo de Acordo com o Método CN
Caatinga Arbórea Densa e Mata Ciliar	Florestas Normais
Caatinga Herbáceo Arbustiva	Florestas Esparsas
Solo Exposto	Estradas de terra de superfície dura
Áreas Agrícola	Plantações regulares em fileiras retas
Área Alterada/Antropizada	Pastagens ou terrenos em más condições

Com as informações do grupo de solo hidrológico da bacia e o uso do solo (classificado de acordo com o Método CN) pode-se determinar o CN, a ser adotado no cálculo da precipitação efetiva, ponderando-se estas informações, conforme apresentado na Tabela 4.6 a seguir.



Determinou-se, portanto, que para o cálculo da precipitação efetiva na bacia do açude Ceará deve ser usado CN igual a 80.

Tabela 4.6: Determinação do Número CN para a Área da Bacia Hidrográfica do Açude Ceará.

Uso do Solo de acordo com o Método CN	PERMEABILIDADE (m ²)		PONDERAÇÃO CN			
	C	D	CN _C	PESO _C	CN _D	PESO _D
Florestas Normais	36.576.900	7.915.500	70	0,16	76	0,04
Florestas Esparsas	93.781.800	41.445.000	78	0,42	84	0,18
Plantações regulares em fileiras retas	6.362.100	7.171.200	84	0,03	88	0,03
Estradas de terra de superfície dura	1.800	4.500	90	0,00	92	0,00
Pastagens ou terrenos em más condições	18.562.500	12.626.100	86	0,08	89	0,06
CN GERAL						80

4.4. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Para a caracterização climática da região foram utilizadas as informações da estação meteorológica de Fortaleza, a qual é a estação geograficamente mais próxima do local da barragem, localizada nas coordenadas UTM N 9.583.649 e E 544.417. As informações com relação a temperatura, insolação, umidade relativa, ventos e evaporação foram extraídas das *Normais Climatológicas - 1961 a 1990* - do INEMET (1992), para a estação meteorológica de Fortaleza.

Para os dados de precipitação e de evapotranspiração utilizaram-se as informações do posto pluviométrico mais próximo ao lago a ser formado, sendo que a evapotranspiração foi calculada segundo *Hargreaves* (1974)³. Identificou-se como posto a ser utilizado nos

³ HARGREAVES, G. H. (1974) *Potencial Evapotranspiration and Irrigation Requirements for Northeast Brazil*, Utah State University.



estudos a estação Maranguape (código 2872766), localizada nas coordenadas 3°53' Sul de Latitude e 38°41' Oeste de Longitude.

A Figura 4.5, a seguir, apresenta a localização da estação de Fortaleza e do posto pluviométrico Maranguape com relação à bacia hidrográfica e à posição da barragem do açude Ceará. a. Temperatura

Para a avaliação dos valores de temperatura média são utilizadas medições realizadas às 12:00, 18:00 e 24:00 do Tempo Médio de Greenwich – TMG. A temperatura média compensada é obtida por ponderação de tais medições, segundo a seguinte fórmula estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial – OMM:

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

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.

As informações com relação à temperatura na região são apresentadas na Tabela 4.7 para os valores de temperatura mínima e máximo absolutos, temperatura média compensada e média das mínimas e máximas temperaturas, os quais

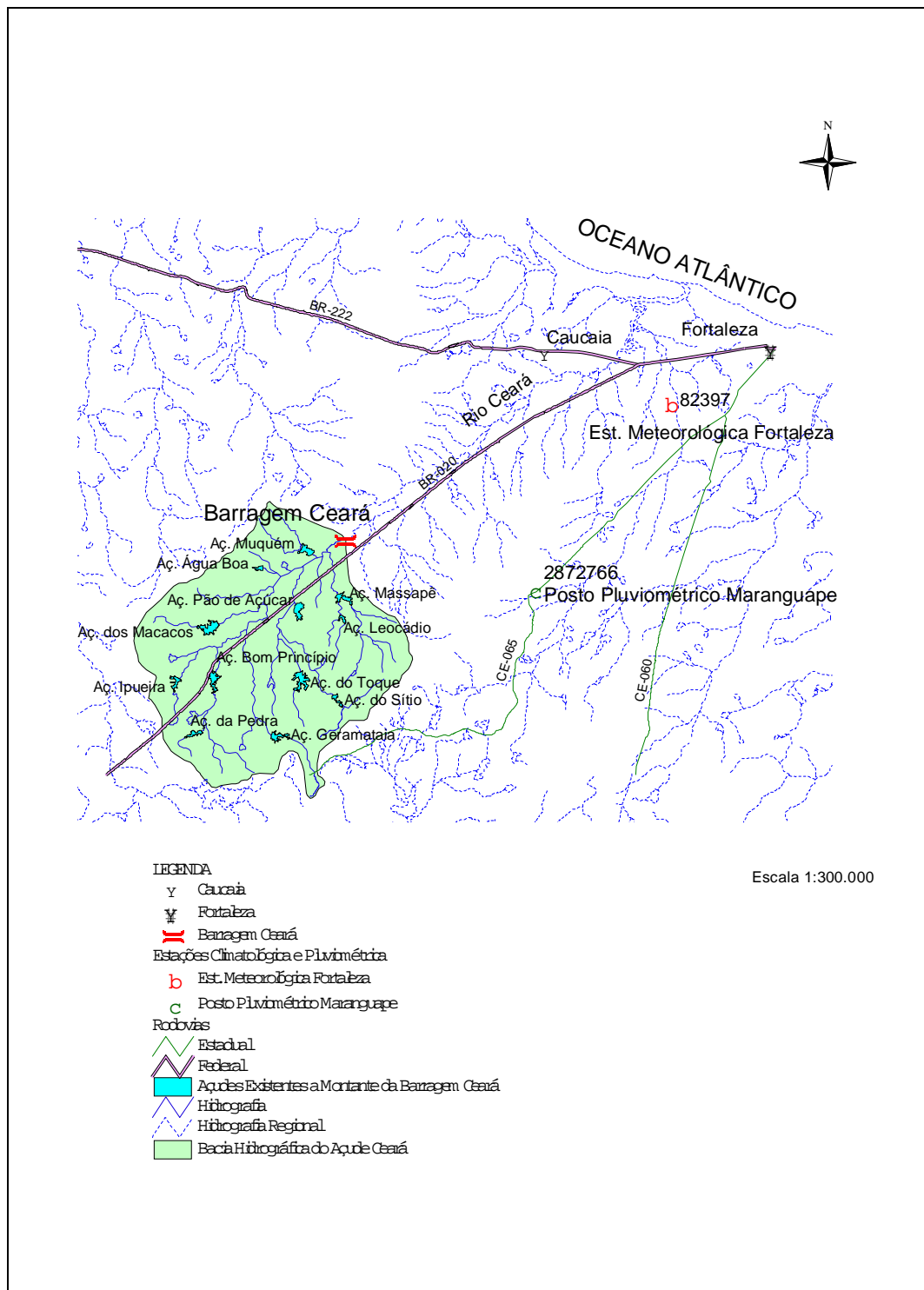


Figura 4.5: Localização da Estação Meteorológica Fortaleza e do Posto Pluviométrico Maranguape, utilizados nos Estudos Climatológicos e Pluviométricos do açude Ceará.



estão representados na Figura 4.6. Pode-se observar que a temperatura média anual varia em torno de 26,6°C, com baixa amplitude térmica ao longo do ano, em torno de 16°C. O período mais quente situa-se no trimestre novembro/dezembro/janeiro, enquanto que o de temperatura mais amena ocorre nos meses de junho e julho. As médias máximas e mínimas extremas ocorrem, respectivamente, nos meses de novembro e dezembro (30,7°C) e julho (21,8°C).

Tabela 4.7 Valores de Temperatura em ° C para a Estação de Fortaleza, CE

Valores de Temperatura (° C) para a Estação de Fortaleza					
Mês	Mínima Absoluta	Média das Mínimas	Média Compensada	Média das Máximas	Máxima Absoluta
Jan	20,1	24,7	27,3	30,5	33,0
Fev	21,2	23,2	26,7	30,1	33,3
Mar	20,6	23,8	26,3	29,7	32,8
Abr	20,0	23,4	26,5	29,7	32,6
Mai	21,0	23,4	26,3	29,1	32,8
Jun	20,3	22,1	25,9	29,6	32,0
Jul	19,3	21,8	25,7	29,5	33,0
Ago	19,5	22,6	26,1	29,1	34,4
Set	20,1	23,4	26,6	29,2	33,4
Out	20,9	24,5	27,0	30,5	33,4
Nov	20,6	24,4	27,2	30,7	33,0
Dez	21,0	24,6	27,3	30,7	33,2
Média Anual	19,3	23,5	26,6	29,9	34,4

Fonte: INEMET, 1992. Normas Climatológicas 1961-1990.

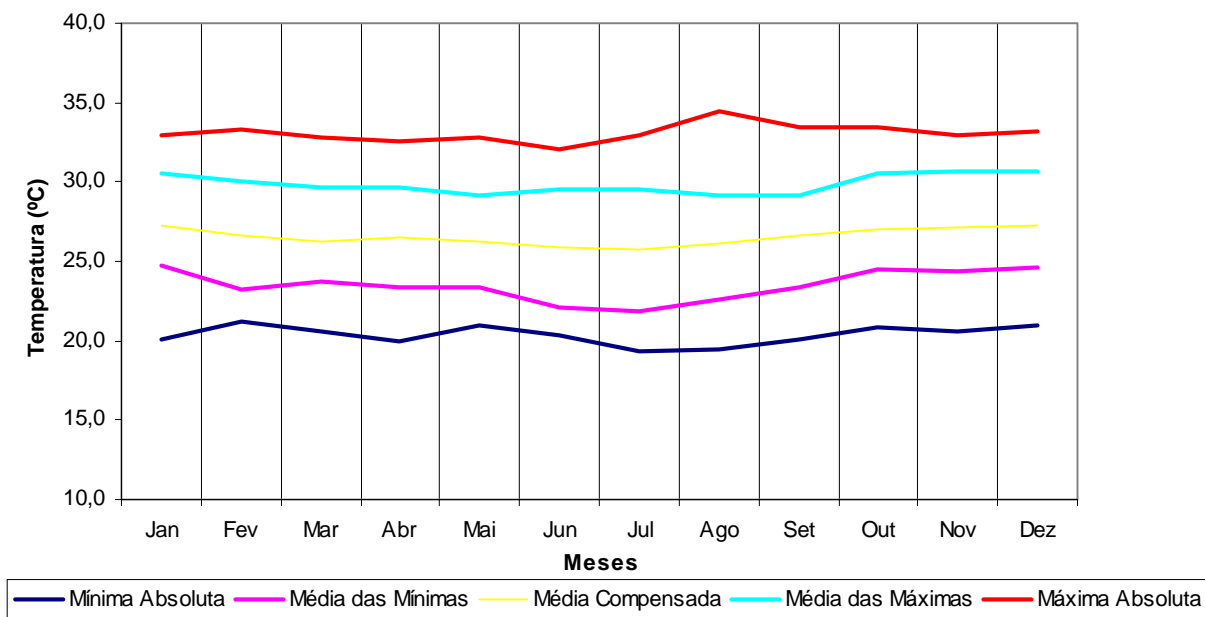


Figura 4.6: Distribuição da Temperatura (° C) para a Estação de Fortaleza - CE ao longo do ano.

a) Insolação Total

A tabela 4.8 e a Figura 4.7 apresentam os valores de insolação total para a estação de Fortaleza, segundo o INEMET (1992), distribuídos ao longo do ano. Pela Figura 4.7 nota-se que há inconsistência no valor de insolação atribuído ao mês de agosto. Provavelmente, o valor deva ser 268,9 horas ao invés de 168,9 horas como apontado pelo INEMET. O trimestre de maior insolação compreende os meses de setembro a novembro, enquanto que a menor insolação ocorre de fevereiro a abril. O mês de outubro apresenta o maior índice de insolação, cerca de 296 horas, enquanto que março é o menor, cerca de 149 horas.

A insolação média anual da região é cerca de 2.694,3 horas, representando, teoricamente, a 62% dos dias do ano com luz solar direta.

Tabela 4.8: Valores de Insolação Total para a Estação de Fortaleza, CE

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Insolação (horas)	216,2	175,8	148,9	152,8	209,1	239,6	263,4	168,9	282,9	296,1	283,2	257,4	2694,3

Fonte: INEMET, 1992. Normas Climatológicas 1961-1990.

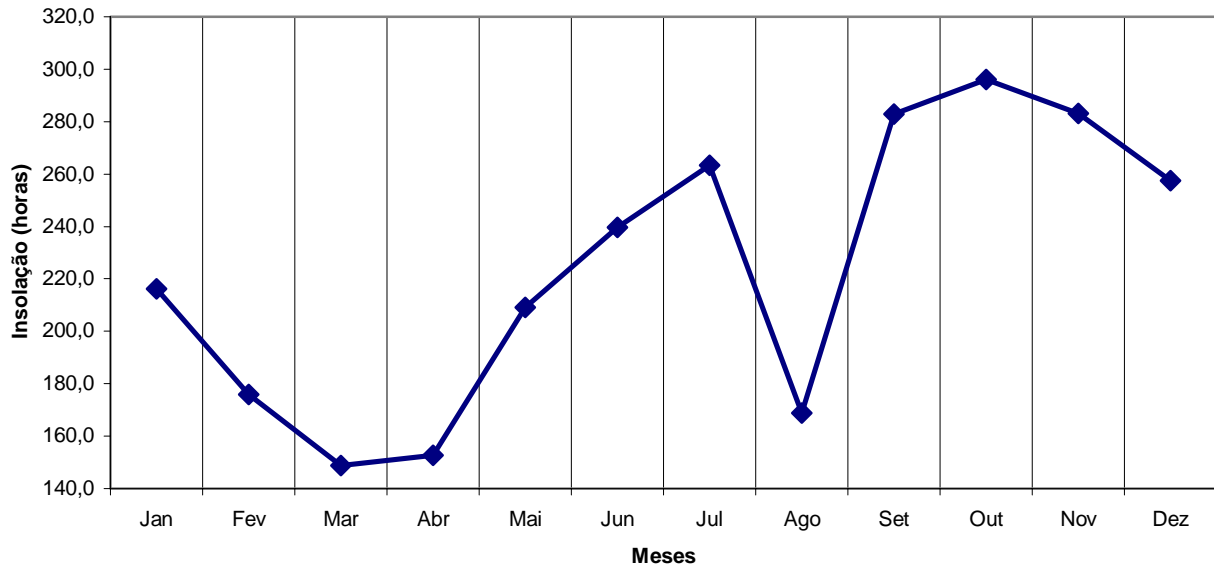


Figura 4.7: Distribuição da Insolação Total para a Estação de Fortaleza - CE ao longo do ano.

b) Umidade Relativa

Para a avaliação dos valores de umidade relativa média são utilizadas medições realizadas às 12:00, 18:00 e 24:00 do Tempo Médio de Greenwich – TMG. A umidade relativa média é obtida por ponderação de tais medições, segundo fórmula estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial – OMM:

A tabela 4.9 e a Figura 4.8 apresentam os valores de umidade relativa média para a estação de Fortaleza, segundo o INEMET (1992), distribuídos ao longo do ano. Pode-se observar que nos meses de março e abril a umidade relativa fica em torno de 85%, enquanto que no período seco, meses de setembro a novembro, os valores atingem cerca



de 73%. Comparando-se os valores de mínima e máxima umidade, verifica-se que esta varia pouco ao longo do ano.

Tabela 4.9: Valores de Umidade Relativa para a Estação de Fortaleza, CE

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Umidade Relativa (%)	78,0	79,0	84,0	85,0	82,0	80,0	80,0	75,0	74,0	73,0	74,0	76,0	78,3

Fonte: INEMET, 1992. Normas Climatológicas 1961-1990.

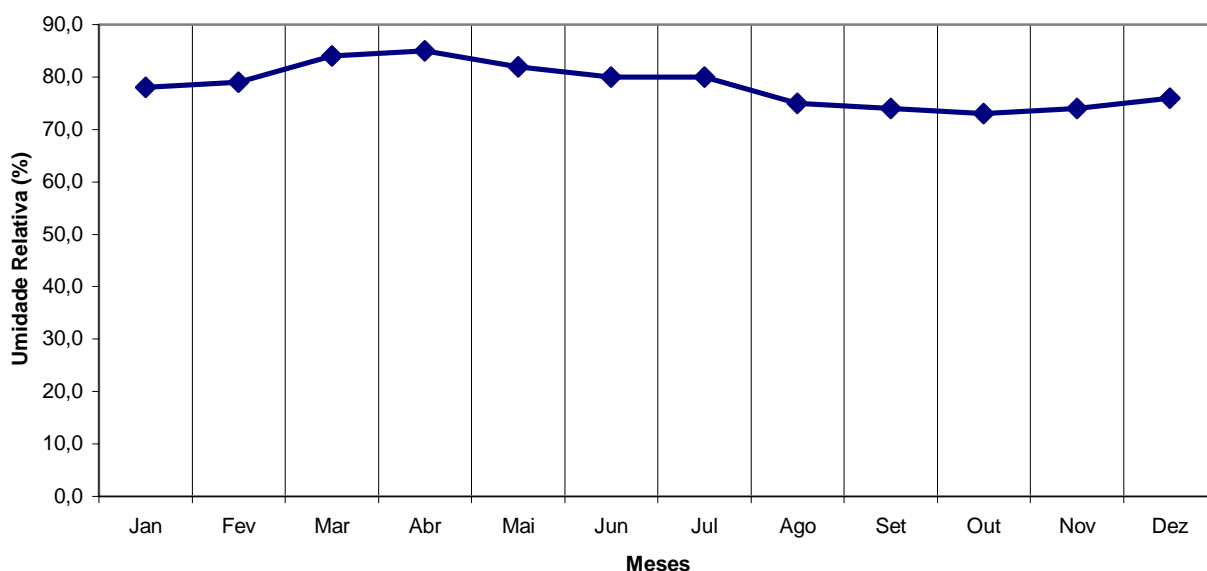


Figura 4.8: Distribuição da Umidade Relativa Média para a Estação de Fortaleza - CE ao longo do ano.

c) Ventos

Os ventos na estação de Fortaleza atingem as maiores velocidades médias no período de agosto a dezembro, cerca de 4,5 m/s. A direção dos ventos predominante é a leste – sudeste para o ano todo, como pode ser visto na tabela 4.10.

**Tabela 4.10:** Valores médios anuais de velocidade do vento para a Estação de Fortaleza, CE.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Velocidade do Vento (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
Direção do Vento	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe	ESe

Legenda: E - Leste; Se - Sudeste.

Fonte: CEARÁ, SRH, 1992. *Plano Estadual dos Recursos Hídricos*.

d) Regime Pluvial a Nível Anual e Mensal

Para a caracterização da precipitação na bacia hidrográfica do açude Ceará, identificou-se como posto a ser utilizado nos estudos a estação Maranguape (código 2872766), como já justificado anteriormente. A tabela 4.11 apresenta as principais características deste posto.

Tabela 4.11 - Características do Posto Pluviométrico utilizado para os estudos de precipitação na bacia do açude Ceará.

Código	Posto	Município	Coordenadas		Altitude (m)	Período de Observação	
			Lat	Long		Mês/Ano Inicial	Mês/Ano Final
2872766	Maranguape	Maranguape	3°53' S	38°41' O	67	01/1912	12/1988

A série de dados diários de chuva observados para o posto 2872766 contém 73 anos completos para o período de 1912 a 1988. A Figura 4.9 apresenta o hietograma mensal.

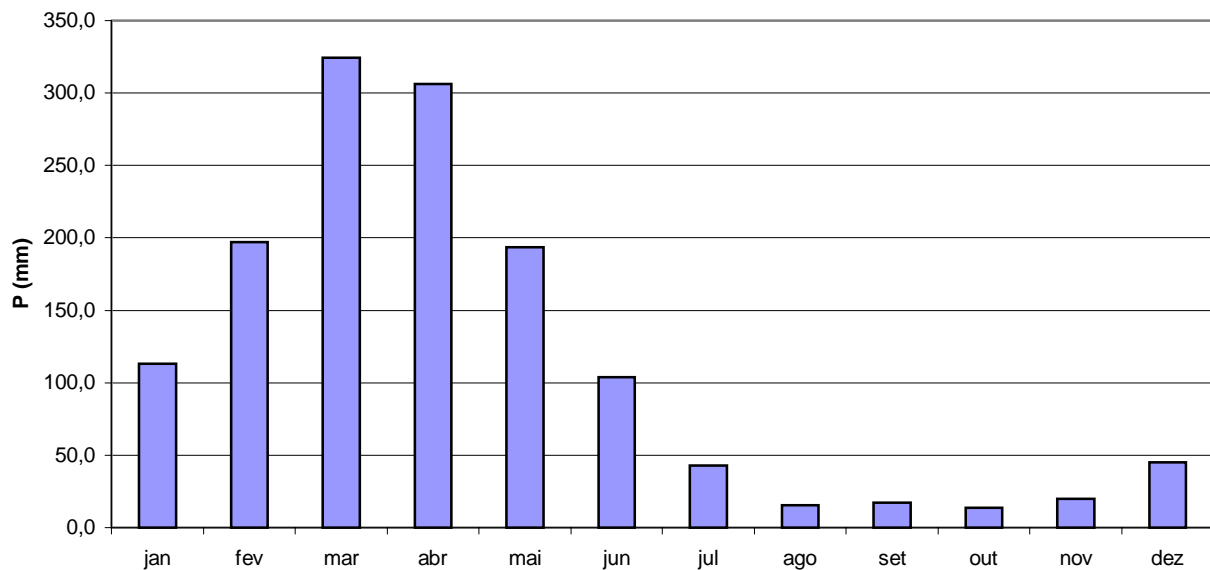


Figura 4.9: Hietograma de chuva média mensal para o posto Maranguape (código 2872766).

Tabela 4.12 – Precipitação média mensal na bacia do açude Ceará.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
113,0	197,3	324,2	306,1	193,4	104,0	42,9	15,5	17,4	13,7	19,7	45,0	1392,4

De acordo com a Figura 4.5.8, os dados mostram que a precipitação média anual na bacia é de 1.392,4 mm, sendo que cerca de 89% do total precipitado concentra-se no semestre Janeiro a Junho de cada ano. A quadra invernososa é representada pelos meses de fevereiro/março/abril/maio, na qual precipita cerca de 73% do total anual, sendo março o mês mais chuvoso. Fica caracterizado, portanto, o elevado índice de concentração temporal das precipitações na região. Considerou-se aqui o quadrimestre ao invés do trimestre para caracterizar o período invernososo, uma vez que os meses de fevereiro e maio apresentam, praticamente, o mesmo nível de precipitação, 197,3mm e 193,4mm, respectivamente.



Já o período menos chuvoso é concentrado no quadrimestre agosto/setembro/outubro/novembro, precipitando nestes meses em torno de 5% do total anual, sendo o mês com menor índice de precipitação outubro.

Na Tabela 4.13 são apresentados os índices de concentração da precipitação para os níveis mensal, quadrimestral e semestral.

Tabela 4.13: Índices de Concentração Pluviométrica para a Série de Valores Médios Mensais do Posto Maranguape (código 2872766)

CÓDIGO	Mês Mais Chuvoso			Quadrimestre Mais Chuvoso			Semestre Mais Chuvoso		
	Mês	P (mm)	P (%)	Quadrimestre	P (mm)	P (%)	Semestre	P (mm)	P (%)
2872766	Março	324,2	23,3	Fev a Mai	1.021,1	73,3	Jan a Jun	1.238,1	88,9

e) Evapotranspiração Potencial

Evapotranspiração potencial (ETP) é a quantidade de água transferida por superfície completamente coberta por plantas em pleno estágio de crescimento, vegetação de baixo porte e verde, usualmente pastos, e satisfatoriamente suprida de água. Quando considerada dependente do clima, pode ser estimada a partir de parâmetros climáticos, sendo os mais importantes a temperatura, a umidade relativa e um fator que pode ser calculado a partir da latitude (HARGREAVES, 1974).

Para o estudo da ETP na região da bacia hidrográfica do açude Ceará, utilizaram-se os valores calculados por HARGREAVES (1974) para o posto Maranguape, código 2872766, os quais estão apresentados na Tabela 4.14 a seguir.

Tabela 4.14: Valores de Evapotranspiração Potencial – ETP para o Posto Maranguape.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
ETP (mm)	158	131	133	117	119	117	133	151	159	173	164	165	1.720

Fonte: HARGREAVES, G.H. (1974).

f) Evaporação em Tanque Classe A

A evaporação média na área da barragem foi estimada em função dos dados de Evaporímetro de Piché da estação climatológica de Fortaleza, obtidos da publicação do INEMET. Tais valores de evaporação foram acrescidos de 30%, conforme comparação entre os dados de Tanque Classe A e Piché realizados para Quixeramobim e Morada Nova, e estão apresentados na Tabela 4.15 e representados graficamente na Figura 4.10, na qual percebe-se que as maiores evaporações na região ocorrem no período de agosto a dezembro, com valores acima de 150 mm mensais. A lâmina d'água média anual evaporada é cerca de 1,5 metro.

Tabela 4.15: Dados de Evaporação Média Mensal – Tanque Classe A para a Estação de Fortaleza - CE.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Anual
Evaporação (mm)	156,1	124,1	94,1	88,5	110,0	123,1	153,8	197,3	218,1	225,6	218,5	200,6	1910,0

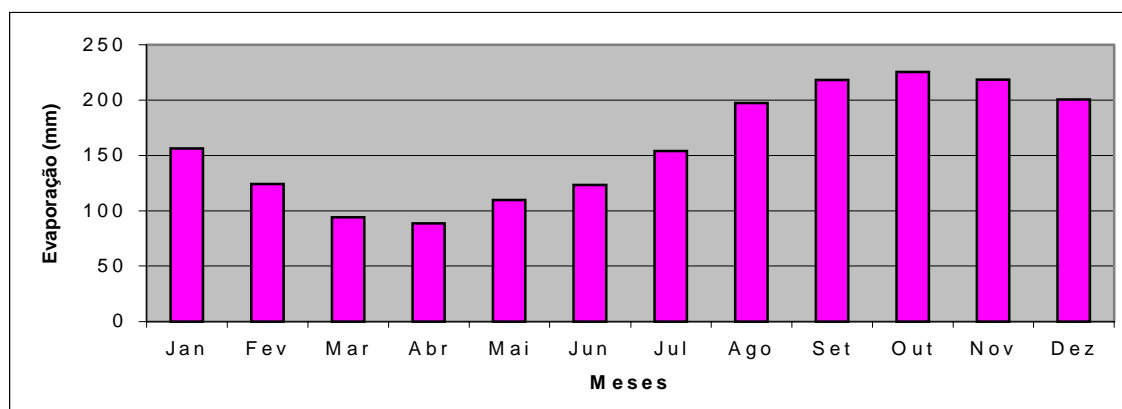


Figura 4.10 - Evaporação Média Mensal – Tanque Classe A para a Estação de Fortaleza - CE.



g) Sinopse Climática

Em síntese, o clima da bacia em estudo é caracterizado pelos indicadores do quadro a seguir.

INDICADOR	ÍNDICE
Pluviometria média anual	1392,4 mm
Semestre chuvoso e índice de concentração	Jan/Jun
Trimestre úmido	Fev/Abr
Trimestre seco	Ago/Out
Mês de maior pluviosidade	Março
Temperatura média anual	26,6 °C
Média das temperaturas mínimas	23,5 °C
Média das temperaturas máximas	29,9 °C
Amplitude das médias extremas	15,1 °C
Umidade relativa média anual	78,3 %
Período de maior umidade relativa	Abril
Período de menor umidade relativa	Outubro
Insolação anual	2694 h
Período de maior insolação	Outubro
Período de menor insolação	Março
Ventos de 1ª predominância	Este/Sudeste
Velocidade média dos ventos	3,6 m/s
Evaporação média anual em tanque classe A	1469 mm
Período de maior evaporação	Out/Nov
Período de menor evaporação	Mar/Abr
ETP média anual	1720 mm



4.5. ESTUDO DE CHUVAS INTENSAS

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 frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foi utilizada a série anual de máximos diários da estação Maranguape (código 2872766), por dispor de maior registro de dados e estar localizada na bacia do açude em questão. Na realidade é a única estação com dados disponíveis em quantidade desejável.

a) Chuvas Máximas Diárias

A distribuição teórica escolhida foi a Pearson III pois apresentou melhor ajuste as frequências máximas diárias observadas, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 - Análise de Frequência de Máximos Diários de Chuva. Posto Pluviométrico: 3813532

TR (anos)	P(1dia)
100	167
1000	217
10000	269

b) Chuvas Intensas

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários escolhidos entre os “n” maiores valores disponíveis na série histórica de cada posto.



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 precipitação-duração-freqüência.

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, que é capaz de registrar a “precipitação de 1 dia”. Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade-duração-freqüência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional (através de pluviógrafos), têm-se o Método das Isozonas (TORRICO,1975)⁴. O referido método foi empregado para a chuva média máxima da estação em estudo. Esses resultados são apresentados nos quadros a seguir.

Precipitações na Bacia do Açude Ceará

TR (anos)	P(1dia)	P(24h)	P(1h)	P(6min)
100	135	149	57	13
1000	176	193	72	17
10000	218	239	87	21

4.6. ESTUDO DE DEFLÚVIOS

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude foi realizada objetivando fornecer elementos para a simulação da operação e, conseqüentemente, o dimensionamento do reservatório. A bacia hidrográfica do açude Ceará não possui estação fluviométrica. O Plano de Gestão das Águas das Bacias Metropolitanas, da COGERH, estudou as séries em toda a região Metropolitana de Fortaleza, inclusive a bacia do Ceará. A série do açude, portanto, foi retirada do referido estudo.

⁴TORRICO, J.T., 1975. PRÁTICAS HIDROLÓGICAS, 2a. Ed., TRANSCOM, RIO DE JANEIRO.



Obteve-se um volume afluyente médio anual de 72,53 Hm³

4.7. ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO

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

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

PMP (precipitação máxima provável) para projetos de importantes obras hidráulicas;

cheia padrão para obras hidráulicas de risco intermediário;

precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência.

Em barragem pequenas e médias, 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 para dimensionamento do sangradouro.

a) 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 hidrograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o



hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1⁵.

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Açude Ceará foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta aos hietogramas de projeto correspondentes a 1000 anos e 10.000 anos de 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 Ceará, diante dos dados disponíveis, foi adotado o seguinte:

Método Curva-Número (*Soil Conservation Service*) na determinação da chuva efetiva;

Método do *Soil Conservation Service* na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (*Overland flow*);

Método de Puls para propagação do escoamento em reservatórios.

b) Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia foi assumida 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. A tabela 4.17 apresenta a chuva de projeto.

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

**Tabela 4.17** - Chuva de Projeto na Bacia do Açude Ceará

Intervalo de Tempo	P(mm) 1.000 Anos	P(mm) 10.000 Anos
5 min	18	21
15 min	38	48
1 h	73	87
2 h	93	121
3 h	108	137
6 h	132	158
12 h	161	201

O hietograma de projeto tem uma duração superior ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich, em $T_c = 3,71$ h.

c) 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)

A metodologia utilizada para determinação da chuva efetiva foi 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.

O CN para a bacia do Ceará foi estimado em 80.

d) Hidrograma Unitário - SCS

Da análise dos dados obtidos no HEC-1 pode-se calcular as vazões que afluem ao reservatório para diferentes tempos de recorrência (TR). Na Tabela 4.18 são apresentadas as vazões afluentes nos respectivos TR

Tabela 4.18 – Vazões afluentes ao reservatório

TR = 1.000 ANOS	TR = 10.000 ANOS
870 m ³ /s	1.177 m ³ /s

e) 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.

f) Resultados

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável não se justifica para o reservatório em estudo, por suas localizações, capacidades e finalidades. Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar a cheia associada ao hietograma de 1.000 anos e verificar a barragem para o hietograma de 10.000 anos.

A cota de sangria foi definida pelo estudo de menor custo do volume regularizado que está apresentado no item 4.8 a seguir. A cota escolhida foi a 43,00 o que representa um volume de acumulação de 51,58 hm³. A largura do vertedouro do açude Ceará foi limitada pela situação topográfica do local, em 120 m de largura.



Para o tempo de concentração da bacia adotou-se uma chuva de duração igual a 12 horas.

Os picos de vazão efluyente e lâminas de sangria são mostrados na Tabela 4.19 a seguir, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

Tabela 4.19 - Vazões e lâminas de sangria

TR = 1.000 ANOS		TR = 10.000 ANOS	
Q(m ³ /s)	h(m)	Q(m ³ /s)	h(m)
239	1,00	361	1,31

4.8. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

a) Disponibilidade hídrica

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 central deste item é a análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Ceará.

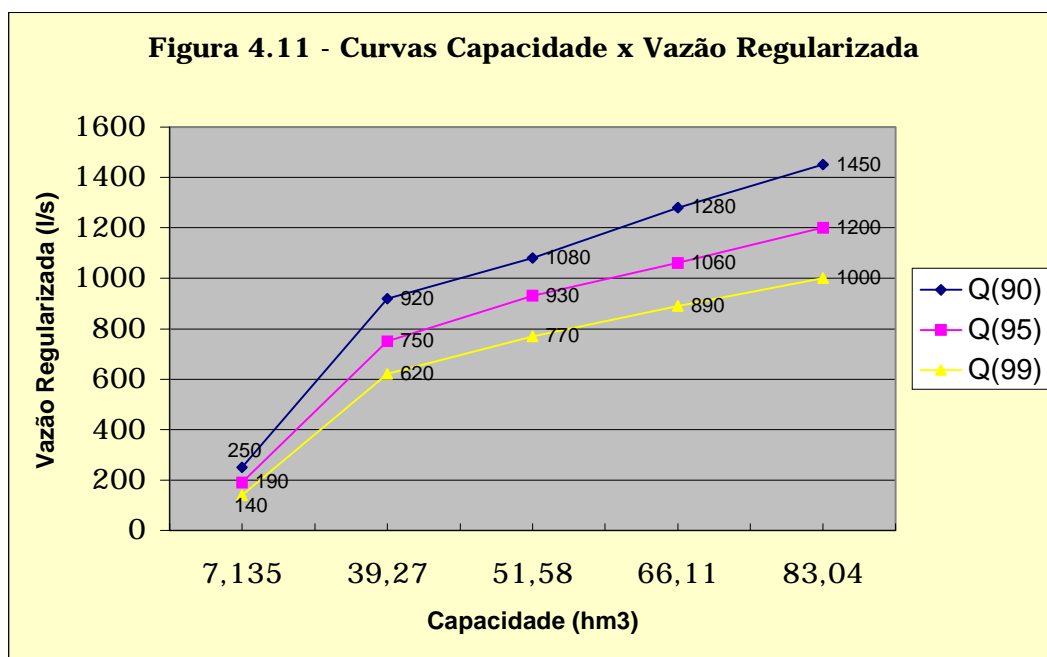
Metodologia

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado o modelo de simulação de reservatórios HEC-3. Esse modelo simula a operação mensal do açude, fazendo uso para isso da equação da continuidade dos volumes (Equação do Balanço Hídrico).

Foi utilizada a série descrita no item 4.6 para obtenção das vazões regularizadas com 90%,95% e 99% de garantia a partir do uso do modelo HEC-3. Os resultados destas simulações estão sumariados na Tabela 4.20 e na Figura 4.11 a seguir.

Tabela 4.20 - Estudo incremental de capacidades do Açude (HEC-3)

Capacidade (hm ³)	Garantia (%)		
	90	95	99
7.135	250	190	140
39.27	920	750	620
51.58	1080	930	770
66.11	1280	1060	890
83.04	1450	1200	1000



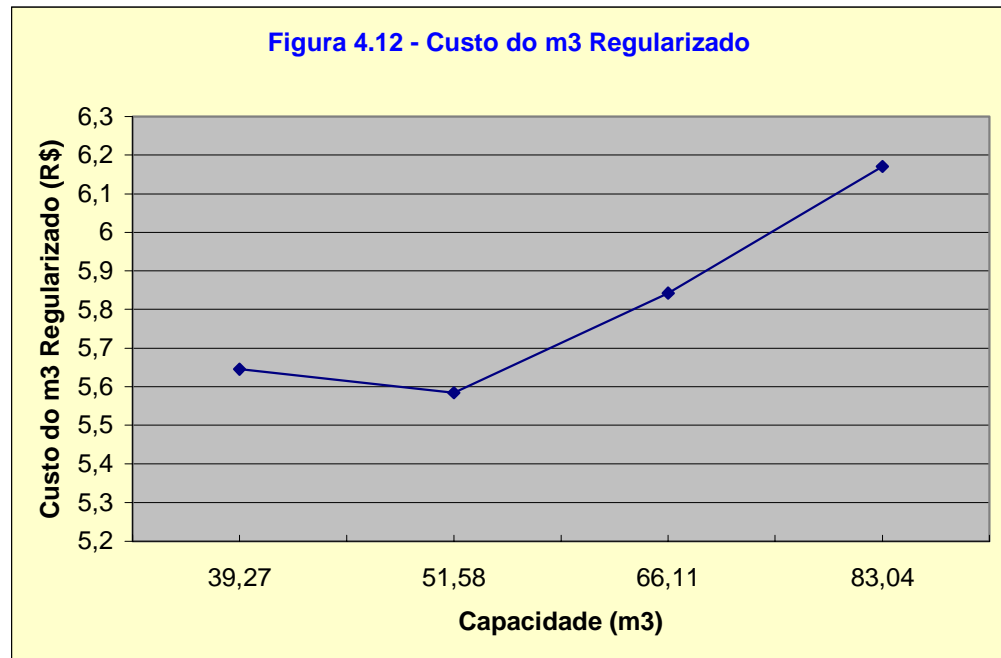
b) Estudo da Capacidade Econômica do Reservatório

A determinação do tamanho do reservatório foi realizada tendo como base o custo mínimo do volume regularizado. Assim, foi realizado o dimensionamento hidrológico - econômico da capacidade do açude.

Para as diversas cotas, determinou-se o seu respectivo custo, tendo-se assim associado a cada cota um custo correspondente da obra. A partir deste pares (cota, custo), foram determinadas as curva de custo do m³ regularizado associado às garantias de atendimento. Essa curva pode ser observada na Figura 4.12 a seguir.



Foi verificado que o menor custo do m³ regularizado, de acordo com o gráfico, é para a cota 43,00 m, que acumula 51,58 hm³.



4.9. ESTUDOS ADICIONAIS

a) 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 extravasamento do reservatório na fase de equilíbrio;
- a) curva de esvaziamento do reservatório.

b) Estudo da Disponibilidade Hídrica

O estudo da disponibilidade hídrica do reservatório Ceará compreende o estudo das probabilidades de enchimento, esvaziamento e extravasamento 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 na teoria estocástica de reservatórios ou Teoria de Moran⁶, apresentando como novidade a inclusão da matriz de evaporação para considerar as perdas por este processo - método de CAMPOS (1990).

Através desta metodologia foram determinadas as curvas de probabilidade de enchimento do reservatório (inicialmente seco) na fase transiente considerando as retiradas de 0, $Q_{r95} / 4$, $Q_{r95} / 2$, $3 \cdot Q_{r95} / 4$ e Q_{r95} (Tabela 4.21). Na figura 4.13 apresenta-se as curvas de garantia para as retiradas de 0, $Q_{r95} / 4$, $Q_{r95} / 2$, $3 \cdot Q_{r95} / 4$ e Q_{r95} .

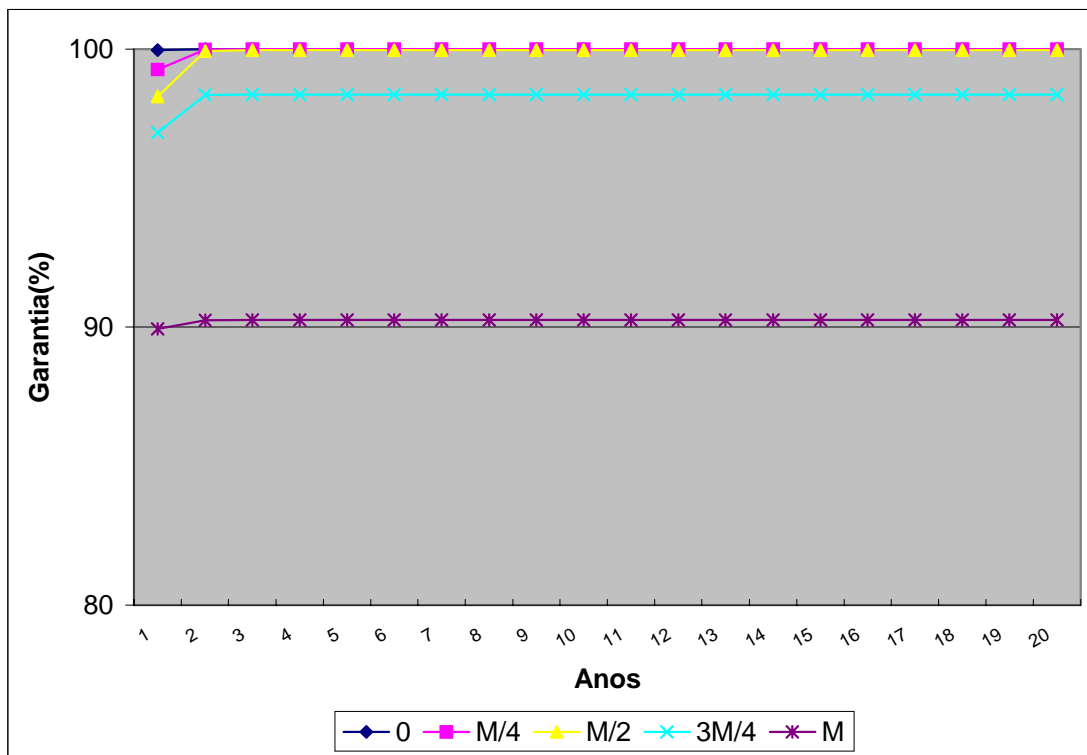


Figura 4.13 - Análise Probabilística da Garantia do Reservatório - fase transiente (M= Q_{r95})

⁶ MORAN, P.A.P. 1959. THE THEORY OF STORAGE. LONDON: METHUEN & CO LTD, 111 p.



Tabela 4.21 - Análise Probabilística do Enchimento do Reservatório na Fase Transiente.
Reservatório inicialmente seco.

ANO	RETIRADA (M = Q95)				
	0	M/4	M/2	3M/4	M
1	99.96	99.27	98.29	96.99	89.94
2	100.00	99.99	99.92	98.34	90.25
3	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
4	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
5	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
6	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
7	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
8	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
9	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
10	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
11	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
12	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
13	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
14	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
15	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
16	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
17	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
18	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
19	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26
20	100.00	100.00	99.96	98.36	90.26

M = Retirada anual (hm³)

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A figura 4.14 apresenta as duas curvas probabilísticas (esvaziamento e enchimento), enquanto que a Tabela 4.22 os seus valores correspondentes.

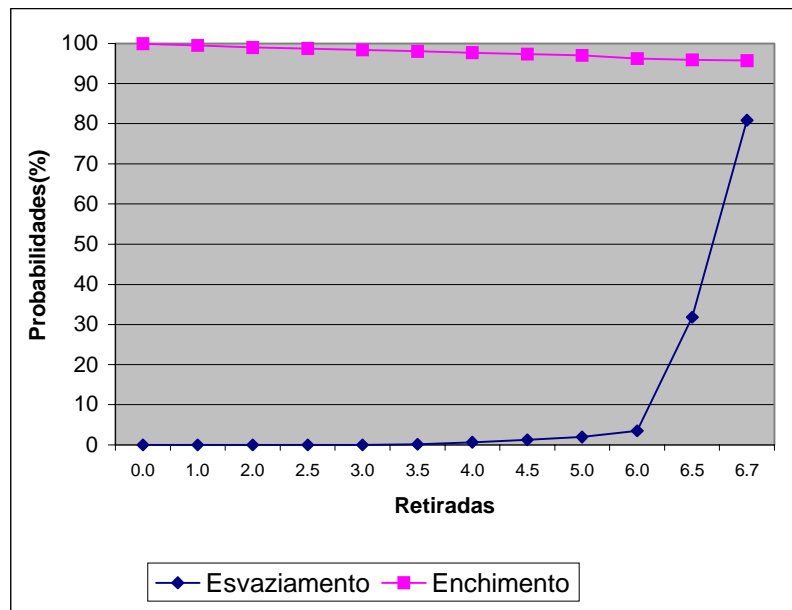


Figura 4.14 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

Tabela 4.22 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

RETIRADA (hm ³)	ESVAZIAMENTO (%)	ENCHIMENTO (%)
0.0	0	99.9
1.0	0	99.5
2.0	0	99
2.5	0	98.7
3.0	0	98.4
3.5	0.2	98
4.0	0.7	97.7
4.5	1.3	97.3
5.0	2	97
6.0	3.5	96.2
6.5	31.8	95.9
6.7	80.9	95.7
6.8	100	95.6



MONTGOMERY WATSON



5. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS



5. CONCLUSÕES DECORRENTES DOS ESTUDOS BÁSICOS

Da campanha de sondagem realizada no boqueirão da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:

- a) Na ombreira esquerda, percebe-se alguns afloramentos de rocha granítica, que associados com o resultado da sondagem percussiva SP-03, revelam a pouca espessura do solo de recobrimento do substrato rochoso. O manto de solo residual neste local é constituído por um solo argiloso siltoso, micáceo, com fragmentos de rocha, de cor avermelhada, com espessura de cerca de 2,45 m. O ensaio SPT mostrou valores elevados representando uma consistência de média a dura.
- b) Na faixa de aluvião, compreendida aproximadamente entre as estacas 8 e 32, a espessura do solo varia de 10,20 m (na estaca 12) até 0,50 m na calha do rio(estaca 16+10). Entre as estacas 8 e 31 ocorre na superfície um depósito de solo argilo siltoso, com matéria orgânica, de cor cinza escuro, com inúmeras trincas de contração por ressecamento, até uma espessura de cerca de 2,00m. Entre a ombreira esquerda e a calha do rio (estaca 16+10) o pacote aluvionar imediatamente subjacente a camada com matéria orgânica, é constituído por solos argilo siltosos ou silto argilosos, pouco arenosos, que alcançam a profundidade de cerca de 3,0m. A seguir o estrato passa a se tornar mais arenoso, micáceo, com presença de fragmentos de rocha, tomando feições de um solo residual, até uma profundidade de 6,50 m. Entre a profundidade de 6,50m 10,00m o solo da fundação passa a ser constituído por uma areia fina e média siltosa, onde os fragmentos de rocha são mais freqüentes, de consistência muito compacta. Na região entre a calha do rio(estaca 16 + 10) e o início da ombreira direita(aprox. estaca 32) o pacote aluvionar subsequente ao superficial (argila com material orgânico) constitui-se, predominantemente, de solos areno-siltosos, que atingem a profundidade de cerca de 8,0 m. O referido pacote apresenta-se muito compacto nas proximidades da ombreira direita e com menor compacidade junto a calha do rio. Na sondagem SP-06 (estaca 20) obteve-se na profundidade de 3,45 m um SPT de 3, limitado por valores de 10 e 5 nas profundidades de 2,45 e 4,45, respectivamente.



- c) Na elevação à direita do trecho aluvionar do rio Ceará, foi verificada as condições de fundação através de poços escavados manualmente. Essas prospecções indicaram nas estacas 35+10 e 36+10, um recobrimento do substrato rochoso constituído de um solo silto arenoso, de cor cinza, com profundidade de 4,0 e 2,10m, respectivamente. Observou-se que esse solo diminui de espessura a medida que sobe-se a encosta, inclusive, com desapareção na região da cume da elevação.
- d) O substrato rochoso é constituído por rochas graníticas, macia na sua parte mais superficial e dura a muito dura em profundidade. Essa porção macia apresenta-se de medianamente a altamente intemperizada, com um número de fraturas superior a 20/m e recuperação inferior a 60%, alcançando uma espessura máxima de 5,70m na sondagem SM-03. A região de maior dureza do substrato rochoso apresenta-se ligeiramente a medianamente intemperizada, com recuperação elevada (praticamente 100%) e pequeno fraturamento sub-vertical.
- e) Via de regra os ensaios de perda d'água foram realizados de forma descendente, com espaçamento de 3,0m na rocha, com inserção de um único obturador. Os resultados dos ensaios mostraram na grande maioria valores de perda d'água entre 0,15 e 0,40 l/min/m/atm. O comportamento do fluxo de percolação da água nas fraturas foi predominantemente "de deformação sem alteração" tendo ocorrido alguns casos de "deformação com fechamento". No entanto, na sondagem SM-07 (estaca 8), realizada a 30m a montante do eixo, a perda d'água foi total em vários trechos onde se tentou realizar o ensaio.
- f) O ensaios de permeabilidade "in situ" com carga constante (Le Franc), realizados a cada 1,0m de profundidade nas sondagens percussivas, registraram valores de permeabilidade para o solo, em média entre 8×10^{-4} e 10^{-5} cm /seg.

Desta campanha de sondagem realizada no sangradouro da barragem, pode-se observar, entre outras coisas, que:



- a) O topo do substrato rochoso no eixo locado do sangradouro situa-se entre 1,65 e 3,47 m abaixo da superfície do terreno natural, ou seja entre cotas 44,0 e 41,3 m. Nas sondagens realizadas neste eixo verificou-se que a rocha com menor estado de alteração, ou seja, com competência para resistir a erosão provocada pelos fluxos vertedouros, apresenta-se a partir da cota 40,00 m.
- b) Da análise geral das três sondagens rotativas executadas na área do sangradouro percebe-se que a rocha perfurada constituiu-se de granito, apresentando no topo uma zona mais intemperizada, com 0,30 a 2,0 m de espessura, onde a rocha é muito fraturada, com RQD (Rock Quality Designation) muito baixo (predominantemente zero). Subjacente a esta zona a rocha apresenta melhores condições, com uma dureza de moderadamente a muito dura, ligeiramente alterada a sã, com valores de RQD mais elevados, variando entre 70% a 100%.
- c) Duas sondagens percussivas executadas junto ao eixo revelaram um manto de solo de 0,88 e 1,85 m, sobrejacente ao substrato rochoso com resistência a penetração (SPT) acima de 15 golpes, ou seja, bastante compactado.
- d) Das seis sondagens realizadas na área do sangradouro, verifica-se que a camada de solo tem uma espessura média de 1,70m , sendo constituída de um silte arenoso, pouco argiloso, micáceo, com fragmentos de rocha. Este solo poderá ser utilizado em zonas à jusante do maciço da barragem.

As observações de campo associadas aos exames dos ensaios laboratoriais permitem os seguintes comentários acerca dos materiais construtivos estudados para a barragem Ceará:

- a) As caracterizações realizados (granulometria e limites de Atterberg) nas ocorrências de materiais terrosos, jazidas J-01 até J-05, permitiram enquadrar os materiais estudados nos grupos SM (areia siltosa) e SC (areia argilosa) da “Classificação Unificada USC”.



- b) As jazidas J-01 até J-04 tem características apropriadas para uso em qualquer local do maciço da barragem no entanto, sugere-se o uso de todo o volume possível das escavações obrigatórias do sangradouro em zonas menos nobres da seção, a utilização até o esgotamento da jazida J-01, por ser mais próxima e em seguida das jazidas J-03 e J-04. Nas barragens auxiliares indicou-se o emprego dos solos da jazida J-05 por ser mais próximo e pela a baixa altura desses maciços.
- c) O material pétreo necessário para as proteções dos taludes do maciço, transições e enrocamento de pé tem como fonte de obtenção prioritária a escavação do substrato rochoso no sangradouro, que apresenta características apropriadas para tais fins. Selecionou-se dois locais de afloramento de granito róseo como pedra complementar; um situado a 0,1 km a jusante do eixo e outro a 1,8 km a montante deste .
- d) Os bancos de areia dos rios Cauhípe e São Gonçalo com permeabilidade média de 9×10^{-3} , são apropriados como fonte de suprimento de agregado miúdo para os concretos e para elemento drenante/ filtrante do sistema de drenagem interna do maciço. Como a região sofre uma contínua exploração comercial deste material, indicou-se o rio Capitão Mor como reforço para suprimento de areia, após o esgotamento dos anteriores.

Dos estudos hidrológicos elaborados para para a barragem Ceará pode-se sintetizar:

- a) A cota de sangria e a largura do vertedouro do açude Ceará foram definidas tendo como premissa o melhor aproveitamento das potencialidade hídricas da bacia e a melhor relação entre custo do empreendimento e a vazão regularizada pelo açude. A cota de sangria foi definida como a 43,00 m que corresponde a um volume de acumulação de $51,18 \text{ hm}^3$.
- b) A largura do sangradouro foi definida em função das limitações topográficas do morrote situado na ombreira direita.
- c) Os picos de vazão efluente e lâminas de sangria são mostrados no Quadro 5.1 a seguir, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos.

**Quadro 5.1** - Vazões e lâminas de sangria

TR = 1.000 ANOS		TR = 10.000 ANOS	
Q(m ³ /s)	h(m)	Q(m ³ /s)	h(m)
239	1,00	361	1,31

d) As vazões regularizadas com 90%,95% e 99% de garantia foram obtidas a partir do uso do modelo HEC-3. Os resultados destas simulações estão sumariados no Quadro 5.2

Quadro 5.2 - Vazões Regularizadas

Q(l/s)	GARANTIA(%)
1080	90%
930	95%
730	99%

Consórcio



MONTGOMERY WATSON

