

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

PROJETO EXECUTIVO DE AMPLIAÇÃO  
DO AÇUDE CHILE

TOMO I DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

**PIVOT**

projeto de Irrigação consultoria eAssessoria LTDA

**FORTALEZA- CE**  
**MAIO 2001**



# GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ

## SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS

### AÇUDE PÚBLICO CHILE

Lote 02494 - Prep (X) Scan ( ) Index ( )  
Projeto Nº 0238/01/A  
Volume \_\_\_\_\_  
Qtd A4 \_\_\_\_\_ Qtd A3 \_\_\_\_\_  
Qtd A2 \_\_\_\_\_ Qtd A1 \_\_\_\_\_  
Qtd A0 \_\_\_\_\_ Outras \_\_\_\_\_

### RELATÓRIO GERAL

### TOMO I - DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

MAIO / 2001



PROJETOS DE IRRIGAÇÃO  
CONSULTORIA E ASSESSORIA LTDA

0238/01/A

ex.2

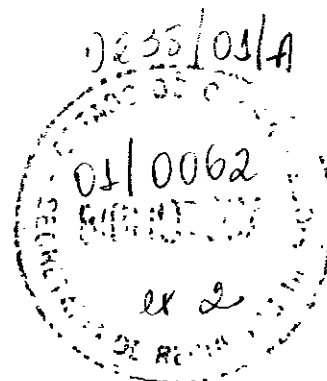
**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**

**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**

**AÇUDE PÚBLICO CHILE**

**RELATÓRIO GERAL**

**TOMO I – DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO**



**MAIO/2001**

**APRESENTAÇÃO**

## **APRESENTAÇÃO**

O presente documento refere-se ao Relatório Geral do Projeto para elaboração dos estudos de Ampliação do Açude Chile, objeto do contrato No. 50/98 celebrado entre PIVOT -- Projetos de Irrigação, Consultoria e Assessoria Ltda. e a Secretaria dos Recursos Hídricos do estado do Ceará

O Relatório Geral do Projeto é composto de 5 (cinco) tomos, a saber:

- Tomo I: Relatório Geral do Projeto
- Tomo II: Memória de Cálculo
- Tomo III: Orçamento e Especificações.
- Tomo IV: Desenhos
- Tomo V Relatório Síntese

A seguir é apresentado o Tomo I – Relatório Geral do Projeto.

## ÍNDICE

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>1.0 – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.0 – ESTUDOS TOPOGRÁFICOS.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 – LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL, SANGRADOURO E ÁREAS DE EMPREÉSTIMOS .....</b>	<b>12</b>
<b>2.2 – TRANSPORTE DE REFERÊNCIA DE NÍVEL.....</b>	<b>13</b>
<b>3.0 – ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 - ESTUDO GEOLÓGICO.....</b>	<b>15</b>
<b>3.1.2 - Geologia Geral.....</b>	<b>15</b>
3 1 2 1 - Geologia Regional . . . . .	15
3 1 2 1 1 - <i>Pré-Cambriano Indiviso</i> . . . . .	16
3 1 2 1 1-a <i>Complexo Caicó (pæc)</i> . . . . .	16
3 1 2 1 1 b <i>Grupo Ceará (pæce)</i> . . . . .	17
3 1 2 1 2 - <i>Grupo Barreiras</i> . . . . .	18
3 1 2 1 3 - <i>Aluviões (Qa)</i> . . . . .	18
3 1 2 2 - <i>Geomorfologia Geral</i> . . . . .	19
3 1 2 3 - <i>Geologia Estrutural Geral</i> . . . . .	20
3 1 2 4 - <i>Geologia Local</i> ... . . . .	20
3 1 2 4 1 - <i>Pré-Cambriano</i> . . . . .	21
3 1 2 5 - <i>Estruturas Locais e nas Proximidades</i> ... . . . .	21
3 1 2 5 1 - <i>Estrutura Localizada na Bacia Hidráulica, Eixo do Barramento e Proximidades</i> . . . . .	21
3 1 2 6 - <i>Materiais Destinados a Empréstimos</i> . . . . .	23
3 1 2 6 1 - <i>Jazida Areal (JA)</i> . . . . .	24
3 1 2 6 2 - <i>Jazida Terrosa (JT)</i> . . . . .	25
3 1 2 6 3 - <i>Jazida de Pedra (JP)</i> . . . . .	26
<b>3.2 – ESTUDO GEOTÉCNICO.....</b>	<b>27</b>

3.2.1 - Sondagens .....	27
3.2.2 – Ensaios de Perda D'água .....	27
3.2.3 - Estudos dos Materiais.....	27
<b>4.0 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS .....</b>	<b>29</b>
<b>4.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA .....</b>	<b>30</b>
4.1.1 – Área de Drenagem .....	30
4.1.2 – Forma da Bacia .....	30
4 1 2 1 – Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ )	30
4 1 2 2 – Fator de forma ( $K_f$ )	32
4.1.3 – Sistema de Drenagem.....	32
4 1 3 1 – Ordem dos Cursos D'água	... 32
4 1 3 2 – Densidade de Drenagem ( $D_d$ )	32
4 1 3 3 – Extensão Média do Escoamento Superficial	33
4.1.4 – Caracterização do Relevo .....	33
4.1.5 – Solo e Vegetação.....	33
<b>4.2 – CLIMATOLOGIA .....</b>	<b>34</b>
4.2.1 – Pluviometria .....	34
4.2.2 – Temperatura .....	34
4.2.3 – Umidade Relativa e Insolação .....	35
4.2.4 – Evaporação e Evapotranspiração.....	36
4.2.5 - Ventos.....	36
4.2.6 – Resumo dos Índices Climáticos .....	36
<b>4.3 - ESTUDO DAS CHUVAS INTENSAS.....</b>	<b>37</b>
4.3.1– Objetivos .....	37
4.3.2– Metodologia.....	37
4 3 2 1 - Seleção do Posto Pluviométrico	37
4 3 2 2 - Estudos Probabilísticos das Precipitações Diárias	38

4 3 2 3 - Precipitações Associadas aos Diversos Períodos de Retorno	39
4 3 2 3 1 – O Método Gumbel	39
4 3 2 4 - Cálculo da Chuva Virtual de 24 horas de duração ( $P_{24h} = 1,095P_{1 dia}$ )	41
4 3 2.5 - Determinação do ISOZONA a qual Pertence a Bacia	42
4 3 2 6 - Cálculo da Chuva de 1 hora de Duração	42
4 3 2 7 - Conversão da Chuva Pontual para a Chuva em Toda a Área da Bacia	44
4 3 2 8 - Determinação Das Chuvas Intensas para Durações entre 1 Hora E 24 Horas	44
<b>4.4 - ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO</b>	<b>45</b>
<b>4.5 – ESTUDO DO VOLUME REGULARIZADO</b>	<b>53</b>
<b>4.5.1 - Metodologia</b>	<b>53</b>
4 5 1 1 – Deflúvio Anual	57
4 5 1 2 – Desvio Padrão Médio Anual do Deflúvio	57
4 5 1 3 - Lâmina Evaporada na estação seca ( $E_L$ )	58
4 5 1 4 – Estudo da Regularização do Açude Chile	58
4 5 1 5 – Escolha da Dimensão do Açude	59
4 5 1 6 – Estudo da Vazão Amortecida	59
4 5 1 7 – Cálculo da Cota de Coroamento da Barragem	70
4 5 1 8 – Verificação da Capacidade do Sangradouro para a Cheia Decamilenar	73
4 5 1 9 – Curva Chave do Vertedouro	73
<b>4.6 – ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO AÇUDE CHILE NA REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS</b>	<b>75</b>
<b>4.6.1 – Considerações Iniciais</b>	<b>75</b>
<b>4.6.2 - Regularização do Açude Santo Antônio de Russas</b>	<b>75</b>
<b>4.7 - CONCLUSÕES</b>	<b>83</b>
<b>5.0 – PROJETO DA BARRAGEM</b>	<b>84</b>
<b>5.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS</b>	<b>85</b>
<b>5.2 – BARRAGEM EXISTENTE</b>	<b>85</b>
<b>5.3 – DESENHOS EXECUTIVOS</b>	<b>85</b>



<b>5.4 – DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO .....</b>	<b>86</b>
<b>5.4.1 – Tipo de Maciço.....</b>	<b>86</b>
<b>5.4.2 – Fundação.....</b>	<b>88</b>
<b>5.4.3 – Descrição da Seção Tipo .....</b>	<b>88</b>
<b>5.4.4 – Análise da Estabilidade.....</b>	<b>92</b>
5 4 4 1 – Considerações Gerais	92
5 4 4 2 – Resultados Obtidos	93
<b>5.4.5 – Estudos de Percolação da Barragem.....</b>	<b>94</b>
<b>5.4.6 – Análise dos Recalques.....</b>	<b>95</b>
<b>6.0 – PROJETO DO SANGRADOURO.....</b>	<b>96</b>
<b>7.0 – PROJETO DA TOMADA D'ÁGUA .....</b>	<b>98</b>

**1.0 - INTRODUÇÃO**

## **1.0 - INTRODUÇÃO**

O Açude Chile, que barra o Rio Palhano, localiza-se no município de Ibicuitinga, na micro-região de Quixadá, sertão central do estado do Ceará (Figura 1.1)

O acesso é feito, partindo de Fortaleza, pela BR-116 até Russas, onde encontra a CE 138 em direção a Morada Nova. Há 20 km de Morada Nova, através de estrada carroçável, e após percorrer cerca de 10 km, chega-se ao povoado Chile, local do barramento.

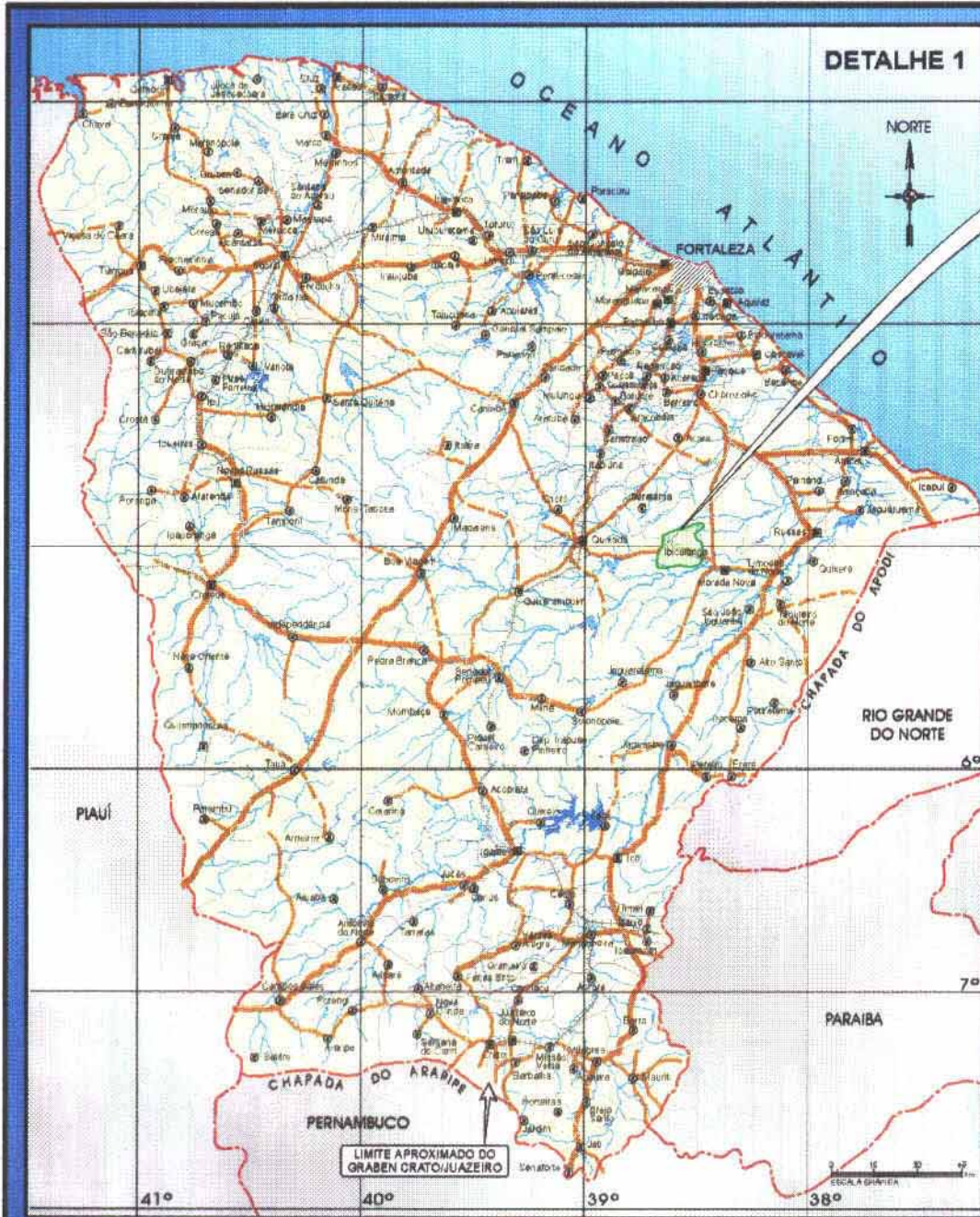
O Rio Palhano nasce na Serra do Palhano e após percorrer cerca de 27 km encontra a barragem do Chile.

A região onde está situada a barragem, apresenta mancha de solos agricultáveis e tem como principal centro urbano o povoado Chile que não dispõe de água potável.

O objetivo deste trabalho é descrever os estudos elaborados e apresentar a descrição do projeto da executiva barragem de ampliação do Açude Chile. Assim sendo, o relatório é abordado nos seguintes tópicos, a saber:

- Estudos Topográficos.
- Estudos Geotécnicos
- Estudos Hidrológicos
- Descrição do Projeto da Executiva Barragem de Ampliação

000012



DETALHE 1



LEGENDA:

- DIVISA INTERMUNICIPAL
- DIVISA INTER-REGIONAL
- DIVISA INTERESTADUAL
- MUNICÍPIO DE 0 a 20.000 HABITANTES
- MUNICÍPIO DE 20.001 a 50.000 HABITANTES
- MUNICÍPIO DE 50.001 a 200.000 HABITANTES
- RODOVIA FEDERAL
- RODOVIA ESTADUAL (ASFALTADA)
- RODOVIA ESTADUAL (SEM ASFALTO)
- ESTRADA DE FERRO
- CURSOS DE ÁGUA

BASE: Atlas do Ceará - 1997 - IPLANCE  
Fundação Instituto de Planejamento do Ceará



Mapa de Localização  
FIGURA 1.1

**2.0 – ESTUDOS TOPOGRÁFICOS**

## **2.0 – ESTUDOS TOPOGRÁFICOS**

Os estudos topográficos associados à ampliação da Barragem Chile envolveram levantamentos do eixo barrável, do sangradouro e das faixas de domínio, na bacia hidráulica, nas áreas do canal de restituição, no trecho da calha do rio imediatamente a jusante da barragem e nas áreas de empréstimo de materiais de construção

Os trabalhos foram inicialmente programados tomando-se como referência a cartografia existente, a saber Carta da SUDENE, na escala 1:100000. Com base neste mapeamento e a partir do reconhecimento da área, foram realizados os serviços de campo, utilizando a metodologia da topografia clássica.

### **2.1 – LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL, SANGRADOURO E ÁREAS DE EMPREÉSTIMOS**

O levantamento do eixo barrável, com extensão de 1100m, foi iniciado na estaca zero do marco 1, situado na ombreira direita, estendendo-se até a estaca 55 do marco 2, na ombreira esquerda. Foi executado a cada 20m numa faixa de 100m a jusante. A montante foi realizada uma batimetria. Foram utilizados piquetes intermediários nas mudanças de declividade nos barrancos do leito e dos braços do rio Palhano.

O sangradouro já existente, situa-se nas faixas do leito e braço do rio Palhano e, portanto, dentro da faixa do levantamento do eixo barrável

As jazidas foram localizadas geometricamente e amarradas ao eixo da barragem e apresentados em planta

Para o levantamento do eixo barrável e das áreas de empréstimos foram utilizados os seguintes instrumentos:

- Teodolito Wild T1A, com precisão de 20", lendo 5".
- Trena fiberglass, aferida.
- Balizas de orientação no eixo.
- Piquetes confeccionados com madeira da região, com mais ou menos 5cm de diâmetros e 10cm a 15 cm de comprimento, utilizados com a finalidade de materializar todos os pontos levantados
- Estacas testemunhas dos piquetes, também em madeira da região, apresentando 4cm de diâmetro e 30cm a 45cm de comprimento, com uso de tinta cor vermelha, para indicação do ponto implantado.

Os equipamentos utilizados durante os nivelamentos foram os seguintes:

- Nível modelo NA-2, marca Wild
- Régua de mira de alumínio, tipo encaixe, marca MIRATEC

## **2.2 – TRANSPORTE DE REFERÊNCIA DE NÍVEL**

O transporte de referência de nível foi realizado a partir de um marco topográfico localizado na Fazenda São Gonçalo. As coordenadas e cotas deste marco foram transportadas por uma equipe do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Área de Concentração em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará, a qual desenvolve pesquisa na área.

**3.0 – ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS**



### 3.0 – ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

Os estudos geológico-geotécnicos constituíram na investigação do subsolo no eixo barrável, ensaios de campo e ensaios de laboratório, como descritos nos itens a seguir

#### 3.1 - Estudo Geológico

Os estudos geológicos foram abordados nos seguintes tópicos:

- Geologia Geral.
- Geomorfologia Geral.
- Geologia Estrutural Geral
- Geologia Local.
- Estruturas Locais e Proximais.
- Materiais Destinados a Empréstimos.

##### 3.1.2 - Geologia Geral

Os estudos geológicos consistiram primeiramente de uma pesquisa bibliográfica em trabalhos que englobassem toda a área objeto deste trabalho. ( A fonte de pesquisa foi dos projetos RADAMBRASIL (1981) e FORTALEZA) com respectivos mapas. (DNPM / CPRM)

Em seguida foi realizado o estudo de campo, mapeamento Geológico em uma área de 675km<sup>2</sup> ou 67.500ha com perímetro de 105 Km com coordenadas UTM 540.000 mE e 570.000 mE e 9 447.500 mN e 9 470.000 mN, em toda a bacia hidráulica e grande parte da bacia hidrográfica da barragem Chile. Folha SB.24-X-C-VI Bonhu.

No final foi elaborado um mapa geológico regional na escala 1:30.000, com base nas informações geológicas obtidas e checadas em campo, foram lançadas em mapa, conforme já referidos

##### 3.1.2.1 - Geologia Regional

A geologia superficial da bacia hidráulica e parte da hidrográfica da Barragem Chile no município de Morada Nova, de acordo com as observações de campo e pesquisa bibliográfica, compreende um conjunto de unidades, posicionados estratigraficamente no Pré-Cambriano indiferenciado onde o Pré-cambriano representado pelo Complexo Caicó englobando, litologias de alto grau metamórfico (in Ferreira 1979 a) e Grupo Ceará reunindo rochas de baixo e

moderado grau metamórfico (Crandall (1910)), citado por RADAMBRASIL (1981) uma unidade de idade posicionada no Terciário/Quaternário representado pela Formação Faceira (Unidade do Grupo Barreiras), e uma unidade Cenozóica de idade quaternária é representada pelos aluviões, ocorrentes nos vales e leitos dos rios e riachos da região

*3 1 2 1 1 - Pré-Cambriano Indiviso*

*3 1 2 1 1-a Complexo Caicó (pec)*

Diversos trabalhos foram realizados na área de ocorrência desta unidade. No início da década passado, Leal, Manoel Filho, Albuquerque, Cruz e França referiram-se ao Pré-Cambriano, como Pré-Cambriano Indiferenciado e Pré-Cambriano inferior (Grupo Caicó e Pré-Caicó mais antigo sem idade específica), englobando uma espessa e variada seqüência de metassedimentos, gnaisses xistos, quartzitos, parafibólito e calcário, com migmatitos e rochas graníticas associadas

Myashiro (1973) (\*) fez um estudo comparativo básico das associações, concluindo que a área investigada pode ser enquadrada nos terrenos de média pressão, com temperatura variando de média à alta, enquadrando-a no fácies anfibólito e cujas subfácies são caracterizados pela silimanita e cienita

Segundo outros autores pode-se ainda enquadrar a área nas zonas da cienita e da silimanita da Série de Bauow (in Miyashiro op. cit) ou ainda na zona da almandina-anfibolito de Turner & Verhoogen (1960) e Winklen (1974). ( (\*) Projeto RadamBrasil, 1981 – Folha Fortaleza )

Litologicamente este complexo é representado por 74,5% de toda área por gnaisses e migmatitos Os gnaisses são de coloração cinza claro, granulação fina à média, foliação bem pronunciada, constituídos principalmente por quartzo, feldspato e minerais micáceos, os migmatitos variam desde os heterogêneos, metatexitos, conforme Mehnert (1971) até os termos envolvendo anatexitos

São geralmente rochas de coloração cinza, naturezas gnáissicas, granulação média à grosseira e composição granítica O neossoma é também granítico, com predominância dos félsicos (quartzo-feldspáticos)

Os tipos heterogêneos não possuem limites determinados, havendo uma passagem gradativa para migmatito homogêneos ou gnaisses, em escala de afloramento.

3 1 2 1 1 b Grupo Ceará (pæce)

Crandall em 1910 realizou a primeira tentativa de elucidar a geologia das rochas cristalinas Pré-Cambrianas do nordeste brasileiro, onde baseado em critérios puramente litológicos, este autor dividiu os terrenos cristalinos em "Série Ceará" e "Complexo Fundamental" para identificar, respectivamente, uma seqüência de xistos com quartzitos, arenitos e calcários, posicionando-a no Paleozóico Inferior e outra de gnaisses e xistos cristalinos.

Campos et alii (1976), no Relatório Final do Projeto Fortaleza, identificaram inúmeras seqüências para-metamórficas, com quartzitos basais seguidos de xistos, filitos e gnaisses, com níveis carbonáticos no topo ou próximo dos mesmos, podendo os últimos excepcionalmente serem encontrados intercalados nos meta-pelitos próximos dos quartzitos basais. Estas "Faixas" do Grupo Ceará tem sua concepção baseada em unidades lito-estratigráficas.

Este Grupo ocorre praticamente em 13% de toda área, ocorrendo na porção centro norte, ocupando grande parte do quadrante noroeste e também parte norte do quadrante nordeste; ou seja ocupa uma ampla faixa longitudinal, compreendendo toda a Serra do Palhano. Seus contatos são concordantes com as rochas circunjacentes.

Litologicamente, o Grupo Ceará é representado por uma seqüência ectínica para-metamórfica, onde; na base, estão os constituintes de natureza clástica, seguidos de representantes pelíticos, clásticos-pelíticos e o horizonte carbonático no topo.

Os gnaisses apresentam coloração cinza escuro e rosada e granulação fina. Exibem estruturas gnáissicas fina constituídas pela alternância de níveis quartzo-feldspáticos e biotíticos.

Microscopicamente mostram textura granolepidoblástica com variações para porfiroblástica e granoblástica constituída por uma alternância irregular de faixas quartzo-feldspáticas e níveis delgados de biotita, com granada, hornblenda e muscovita. A granulação varia de fina a média onde os grãos médios tendem a porfiroblástos. Os acessórios, zircão, titanita, opacos, apatita, clinozoisita e alanita ocorrem em grãos dispersos, geralmente associados às micas.

Os quartzitos (clásticos basais) ocorrem na área em formas de lentes alongadas, segundo a direção NE/SW e estão localizados no quadrante SW Serra do Palhano compondo parte da litologia deste Grupo. Apresentam-se bem recristalizados, com laminações bem pronunciadas, muscovíticos, cujas lamelas se desenvolvem segundo os planos de laminação; são geralmente de cor creme-amarelada, maciço. c/ espessuras médias variáveis.

Os xistos predominam entre litologias pelíticas, apresentam coloração cinza-escura granulação média a grossa, podendo, na base englobar leitos filitosos. Na área este litotipo ocorre associado juntamente com os gnaisses, onde devido a escassez de afloramentos não fora possível, limitar o seu contato. Este litotipo, apresentando-se por vezes intensamente dobrados, clivagem de crenulação onde estas rochas variam composicionalmente de muscovita-biotita-xisto e biotita-xisto, com predomínio de Muscovita-Biotita-Xisto. Quando próximo dos gnaisses observa-se uma granulação mais grosseira e um pouco mais rica em feldspato sob forma de xenoblastos oclares ou delgados leitos até o gnaisse pleno.

### 3 1 2 1 2 - Grupo Barreiras

O Grupo Barreiras é representado por duas formações, onde na área do projeto, só foi evidenciado 1(uma) formação que será comentada a seguir.

#### 3 1 2 1 2 1 - Formação Faceira (TQbf)

A Formação Faceira foi pela primeira vez descrita pelo Grupo de Estudo do Vale do Jaguaribe (Brasil SUDENE/ASMIC, 1967), o qual empregou este termo para designar os sedimentos tipicamente aluviais, bem desenvolvidos, localizados nos tabuleiros, margeando os vales nas baixadas dos rios Jaguaribe e Banabuiú, arredores de Ibicuitinga e Santa Maria.

Esta unidade representa uma fácies de transição dos sedimentos Barreiras, onde os primeiros representam depósitos deltaico e nerítico e o segundo depósitos fluviais, pode-se atribuir uma idade Tercio/Quaternária para estes sedimentos, conforme Campos et alii (op. Cit.).

Regionalmente estes sedimentos ocorrem na parte sul dos quadrantes SW/SE, em forma de depósitos, onde apresenta uma matriz variando de amarelo a avermelhada, composta por fragmentos de rochas cristalinas, onde esta unidade representa pouca mais de 9% do total dos litotipos ali amostrado.

Litologicamente se caracteriza por sedimentos afossilíferos com níveis conglomeráticos basais, avermelhados, grosseiros, contendo seixos bem rolados de quartzo, principalmente e fragmentos de rochas cristalinas diversificadas.

#### 3 1 2 1 3 - Aluviões (Qa)

As aluviões são todos os depósitos fluviais ou lagunares recentes, representando um total de 1,5% de todas unidades.

Litologicamente são representadas pelas argilas, areias argilosas, areias puras e cascalhos nos médios cursos. As aluviões são constituídas principalmente de areias grossas mal selecionadas, puras, com seixos e calhaus de quartzo e rochas adjacentes.

A espessura dos aluviões de um modo geral, estão sempre condicionados as partes mais baixas dos vales. Via de regra oscila entre 1 e 3 metros.

Estes sedimentos se distribuem ao longo do Rio Palhano, Riacho da Barbada, Riacho Estevão, Riacho da Lapa, Riacho Fresco, Riacho do Carrapicho e Riacho da Timbaúba, córregos e alguns tributários.

### 3.1.2.2 - Geomorfologia Geral

Com todas as características regionais, essa área possui uma Geomorfologia ligada às condições climáticas próprias do Nordeste.

Evidencia-se por ser parte integrante de um conjunto morfo-climático do semi-árido, onde as chuvas se concentram em um período anual que corresponde apenas a dois ou três meses (período de inverno) dentro o doze anual.

Considerando-se os dados climáticos de pressão e temperatura, conclui-se que apenas noventa dias são biologicamente úmidos, contra o restante totalmente seco.

As variantes integrantes nesse sistema observam-se que são totalmente dependentes do clima.

O intemperismo físico é atuante durante as vinte quatro horas do dia, onde o vento transporta partículas finas do horizonte superior do solo, e onde o escoamento superficial deixa marcas violentas através das ravinas no relevo suavemente ondulado.

Esse relevo de tão suaves inclinações evidencia um processo de arrastamento no qual caminha para um nivelamento de pediplanação.

Os vales são abertos e de leitos anastomosados, onde são registradas planícies de aluviões, onde os sedimentos transportados se alteram com cascalheiras.

Embora a geologia da área identifique falhamentos, esses já se encontram exumados e as escarpas niveladas.

A área em estudo apresenta um relevo bastante policíclico e que o distingue, ocasionalmente discerne mais de um cíclico erosivo na sua formação.

Na parte noroeste nota-se a presença de duas elevações (cuja cota chega a atingir 315m e 310m). Serra do Palhano e a Serra dos três Irmãos, uma outra sudoeste merece destaca a Serra da Viçosa, com cota em torno de 270m, uma outra elevação é destaque na área o Serrote Catunda com cota em torno de 332m.

A área é ainda, recortada ao centro pelo rio Palhano obedecendo a uma direção SW/NE possuindo um caráter intermitente, devido a vários fatores como clima, distribuição de chuvas, vegetação, topografia e estruturas

### 3 1 2 3 - Geologia Estrutural Geral

Devido a escassez de afloramentos e a localização da área numa região deformada tectonicamente, a mesma apresenta-se relativamente complexa, dificultando uma interpretação dos aspectos estruturais, necessitando de estudos mais detalhados

De um modo geral a foliação pode ser considerada secundária de caráter deformacional, cuja origem se deu a partir de um metamorfismo nas rochas preexistentes. A foliação é bem características dos gnaisses apresentando no contexto global direções NE-SW, com mergulhos médio a fortes variando de 50° a 84° para SE

De acordo com observações geológicas de campo, a estrutural da área mostra duas possíveis fases tectônicas, tanto plástica como de ruptura, sendo que a primeira provavelmente ocorreu durante uma fase de metamorfismo, responsável pelos dobramentos que afetaram a área e uma fase tectônica posterior, responsável por dobramentos secundários, fraturas e juntas.

De uma maneira geral é uma área tectonicamente estável, caracterizada pela presença de litologias de médio a alto grau metamórfico, que são representadas basicamente por migmatitos e gnaisses, mascarados de maneira significativa os caracteres estruturais ali presentes

### 3 1 2 4 - Geologia Local

Litologicamente ocorrem na área (bacia hidráulica da barragem Chile) gnaisses migmatizados do Complexo Caicó (pec), e uma unidade Quaternária (Qa) representada pelas aluviões

O estudo da geologia local deteve em mapear a área, através de um reconhecimento superficial de campo, executando caminhamentos em toda área da bacia e ao longo das seções topográficas locadas, abrangendo faixas de 300m para montante e para jusante, dos eixos estudados, utilizando, bússola (topochaix), GPS (Garmin II plus), martelo(stanley), caderneta de campo e bases topográficas fornecidas(mapas), onde foram identificados todos os afloramentos existente na bacia hidráulica e nos eixos topográficos ( Barragem e Vertedouro).

3 1 2 4 1 - Pré-Cambriano

**Complexo Caicó**

As rochas da unidade Complexas Caicó distribuem-se aproximadamente por 84% de toda bacia hidráulica onde grande parte, encontra-se encoberta por finas camadas de solos. Foram localizados e identificados na área alguns afloramentos existentes, como: leito do Rio Palhano, sangradouro por toda sua extensão, ombreira direita apresenta exposições de rochas gnaissica, cortes na estrada e em afloramentos pontuais na área (Ombreira direita; E - 24 (Eixo); Sangradouro, Estaca E - 40 +6m, Estaca E - 54 + 20m ;Estrada para Ibiçuitinga; margens do açude Chile)

**Cenozóico / Quaternário**

As aluviões estão restritas aos leitos e margens dos principais mananciais locais como: Rio Palhano, Riacho Fresco, Riacho do Carrapicho e Riacho da Timbaúba. Com contribuintes secundários alguns córregos existentes, todos com pouca representabilidade devido a pouca margem (largura dos mananciais) e pequena espessura do pacote sedimentar onde variam de 1.0 a 2,0m de profundidade

3 1 2 5 - Estruturas Locais e nas Proximidades

*3 1 2 5 1 - Estrutura Localizada na Bacia Hidráulica, Eixo do Barramento e Proximidades*

Conforme levantamento feito, as estruturas presentes na área possíveis de análises, resumem-se em xistosidades e/ou planos de foliações e fraturamentos

As atitudes de foliações medidas na área acima mencionada, possuem os seguintes valores:

**Ombreira direita ( Gnaisse)**

N240°Az/75° SE ( 16 medidas)

N245°Az/84° SE ( 3 medidas)

**- Estaca E - 24 (Eixo)**

N220°Az/56° SE ( 8 medidas)

N240°Az/50° SE( 3 medidas)







- Estrada para Ibicuitinga (Gnaisse)

N170° Az/subvertical (4 fraturas)(fechadas e curtas)

N 95° Az/ “ “ (8 fraturas)(fechadas e medias)

N60° Az/ “ “ (12 fraturas) (fechadas e curta)

As margens do açude Chile (Gnaisse)

N168° Az/ subvertical(15 fraturas)(fechadas e curtas)

N12° Az/ “ “ (3 fraturas)(fechadas e curtas)

N143°Az/ “ “ (11 fraturas)(fechadas e medias)

N350° Az/ “ “ (2 fraturas) (fechadas e longas)

N190° Az/70° NW (2 fraturas)(abertas e curtas)

Direções Preferenciais de Fraturamentos na área regional, bacia hidráulica, eixo do barramento, sangradouro e proximidades:

No Intervalo 60° – 90° NE/SW (21 fraturas) 13,54%

No Intervalo 90° – 180° SE/NW (111 fraturas) 71,61%

No Intervalo 270° – 350° NW/SE (04 fraturas) 2,59%

O restante, 19 fraturas, apresentam direções diversas representando 12,26 % do total amostrado.

As fraturas com direcionamentos SE/NW-NW/SE (115 fraturas) representam 74,19% do total amostrado e com direcionamento NE/SW-SW/NE (40 fraturas) representam 25,81% do total amostrado

As direções de lineações e/ou planos de xistosidades apresentam preferencialmente direções variando de N220°AZ a N240°AZ com mergulhos (médios a fortes) preferenciais, variando de 50° a 84° para SE ou seja apenas uma direção preferencial de mergulhos.

### 3.1.2.6 - Materiais Destinados a Empréstimos

Os estudos de materiais iniciaram-se com reconhecimento da área regional nos municípios de Ibicuitinga e Morada Nova, de modo a classificar o tipo de ocorrências, exame de qualidade e estimativa dos volumes de materiais disponíveis e suas localizações em coordenadas UTM das possíveis jazidas, pedreiras, materiais arenosos e materiais terrosos, com os seguintes condicionantes: boa qualidade, fácil exploração, que seja próximo e que tenha um bom acesso. Serão descritas e referenciadas a seguir:

3 1 2 6 1 - Jazida Areal (JA)

As jazidas foram estudadas e detalhadas através de um segmento de sondagens a trado, realizadas ao longo dos depósitos, (Rio Palhano) e abertura de poços numa malha quadrática dentro da bacia hidráulica, onde se situa um outro depósito natural.

As sondagens realizadas permitiram a cubação dos volumes de materiais disponíveis e a coleta de amostras para realização de análises granulométricas.

As jazidas (JA) encontram-se nas proximidades do eixo Barrável.

**JAZIDA JA – 01 ( Rio Palhano)**

Localização: Coordenadas UTM (E) - 560 186,00  
(N) - 9.461.223,00

**Dados gerais da jazida (JA - 01)**

Comprimento do Trecho... ..400,00m  
Largura média do Trecho .. .. 8,80m  
Número de sondagens realizadas..... .. 06  
Espessura média da camada . . . . . 0,90m  
Volume de material explorável .. ..3.168m<sup>3</sup>  
Distância do areal ao eixo. . . . . 452,37m

**JAZIDA JA – 02 ( Dentro da Bacia Hidráulica)**

Localização: Coordenadas UTM (E) - 558.791,00  
(N) - 9.460.357,00

**Dados gerais da jazida (JA - 02)**

Comprimento . . . . .50,60m  
Largura média .....60,25m  
Número de sondagens realizadas. . . . .05  
Espessura média da camada .. .....3,40m  
Volume de material explorável... ..10 365 41m<sup>3</sup>  
Distância do areal ao eixo .. . 1.201,04m

**VOLUME TOTAL( JA-01 + JA-02 ).....13.533,41m<sup>3</sup>**

**JAZIDA JA – 02 (Dentro da Bacia Hidráulica)**

3 1 2 6 2 - Jazida Terrosa (JT)

Com base no reconhecimento de campo foram pré-selecionadas 03 (três) áreas propensas para o fornecimento dos materiais de empréstimos; após analisados taticil-visualmente pode-se constatar que trata-se de solo de composições lateriticos (piçarra) de coloração vermelho a castanho escuro, textura fina a média constituídos por silte, areia e argila com horizontes por vezes pedregulhosos), toda essa composição compõe um solo siltico-areno-argiloso, com níveis de seixos angulosos e subarredondados de tamanhos variando de 0,05cm a 2,00cm de comprimentos, apresenta pouco a médio nível de plasticidade, relativamente moldável e com médio nível de cerosidade

Para o detalhamento das jazidas terrosas JT-01, JT-02 e JT-03 realizou-se uma malha retangular/ quadrática de furos a pá/picareta, de distâncias variáveis (ver esquema de sondagens) e posicionamento em relação ao eixo da barragem onde conforme levantamento realizado, foram permitido a cubação do material terrosos existente

Das 04 (quatro) jazidas somente 03 (três) se enquadraram nos parâmetros técnicos exigidos, como também na espessura da camada de material possível de ser explorada, e dessa forma coletou-se amostras para a realização de ensaios laboratoriais, somente das jazidas consideradas de relativas espessuras. Todas estas jazidas situam-se próximas das outras se limitando apenas por riachos e micro planícies existentes

**JAZIDA 01 (JT - 01) Localidade Fazenda Arapua**

Localização: Coordenadas UTM (E) – 561.668,00  
(N) – 9.459.386,00

Área Total Estudada: 6 500,00 m<sup>2</sup>

Profundidade Média dos Furos 1,29 m

Volume Total do Material 8.385,00 m<sup>3</sup>

Camada Média de Expurgo: 0,12 m

Espessura Média Útil: 1,17 m

Volume do Material Utilizável: 7.605,00 m<sup>3</sup>

Distância em Linha Reta ao Eixo da Barragem 1.908,19 m

**JAZIDA 02 (JT - 02) Localidade Fazenda Arapua**

Localização: Coordenadas UTM (E) - 561 711,00  
(N) - 9.458 998,00

Área Total Estudada: 9.792,17 m<sup>2</sup>

Profundidade Média dos Furos. 1.35 m  
 Volume Total do Material 13 219.43 m<sup>3</sup>  
 Camada Média de Expurgo: 0.14 m  
 Espessura Média Útil: 1.21 m  
 Volume do Material Utilizável: 11.848,52 m<sup>3</sup>  
 Distância em Linha Reta ao Eixo da Barragem: 2.680,32 m

**JAZIDA 03 (JT - 03) Localidade Fazenda Arapua /Chapada**

Localização. Coordenadas UTM (E) - 561.532,00  
 (N) - 9.458.584,00

Área Total Estudada: 96.000,00 m<sup>2</sup>  
 Profundidade Média dos Furos 1.16 m  
 Volume Total do Material 111.360m<sup>3</sup>  
 Camada Média de Expurgo: 0,12 m  
 Espessura Média Útil 1,04 m  
 Volume do Material Utilizável: 98.840,00 m<sup>3</sup>  
 Distância em Linha Reta ao Eixo da Barragem: 2.890,25 m

**VOLUME TOTAL(JT-01 + JT-02 + JT-03).....118.293,52m<sup>3</sup>**

*3 1 2 6 3 – Jazida de Pedra (JP)*

As pedreiras (afloramentos e blocos) (JP) estudadas nas imediações da bacia hidráulica/hidrográfica, possuem variações desde granito-gnaisses, metatextos e gnaisses migmatizados, são afloramentos e blocos basculados de pequenas dimensões e de difícil exploração devido a pouca profundidade e o difícil acesso, no entanto pode-se utilizar como complemento na medida de suas necessidades. Foram analisados e cubados “*in loco*” e concluiu-se que o volume é de pouca a média expressividade, mas devido às condições de lavra torna-se economicamente inviável, no levantamento custo/exploração.

Uma pedreira localizada na localidade Currais de propriedade do Senhor Geraldo Ferreira Nobre possui todas as características ideais para exploração como: frente de lavra com bancada, volume satisfatório, fácil exploração, bom acesso (próximo da CE – 265 que liga Quixadá a Morada Nova), no entanto fica distante da área aproximadamente 18km.

### Características da pedreira JP-01(Currais)

Localização em Coordenadas UTM (E) -	549 045,00
(N) -	9.447 382,00
Extensão . . . . .	82,00m
Largura . . . . .	56,00m
Profundidade explorável . . . . .	3 40m
Volume explorável.. . . . .	15.612,80m <sup>3</sup>
Volume metralha 30% . . . . .	4 683,84m <sup>3</sup>
Volume aproveitável.. . . . .	10 928,96 m <sup>3</sup>
Distancia para o eixo..... . . . .	17.408,32m
Classificação . . . . .	Metatexito

**VOLUME TOTAL (JP 01)..... 10.928,96 m<sup>3</sup>**

## 3.2 – ESTUDO GEOTÉCNICO

Os estudos geotécnicos constituíram na investigação do subsolo no eixo barrável, ensaios de campo e ensaios de laboratório, como descritos nos itens a seguir.

### 3.2.1 - Sondagens

No local da barragem, foram executadas 3 sondagens mistas, iniciando com percussão e prosseguindo com rotativa. Os resultados destas sondagens são apresentados no relatório da GEONORTE – Engenharia de Solos e Fundações Ltda, em anexo. As cotas das bocas dos furos foram obtidas do levantamento topográfico realizado no local

### 3.2.2 – Ensaios de Perda D'água

Os ensaios de perda d'água sob pressão (em rocha), nos trechos com rotativa, foram realizados pela empresa GEONORTE – Engenharia de Solos e Fundações Ltda e os resultados são apresentados em anexo.

### 3.2.3 - Estudos dos Materiais

Os estudos das ocorrências de materiais para a utilização na ampliação do Açude Chile 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 descritos no estudo geológico

Foram estudadas as seguintes ocorrências

- Jazida JT-01: material terroso para o maciço
- Jazida JT-02: material terroso para o maciço
- Jazida JT-03: material terroso para o maciço.
- Jazida JA-01: material arenoso para o maciço.
- Jazida JA-02: material arenoso para o maciço.
- Pedreira 01: para produção de pedra para enrocamento e brita.

A localização e acesso de todas as ocorrências em relação ao eixo barrável são apresentados em anexo

Das sondagens executadas nas jazidas, foram coletadas dez amostras para a classificação tátil-visual e para serem submetidas aos seguintes ensaios geotécnicos de laboratório

- Granulometria por Peneiramento (DNER-ME 80-64).
- Limite de Liquidez (DNER-ME 44-71)
- Limite de Plasticidade (DNER-ME 82-63)
- Compactação - Proctor Normal (DNER-ME 48-64).

O Areal (A-01), e a Pedreira (P-01) foram identificados e estudados para execução dos drenos, riprap e concretos

Foram coletadas duas amostras do areal, para a realização da classificação tátil-visual e dos seguintes ensaios geotécnicos de laboratório

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

A classificação tátil-visual e os resultados dos ensaios de laboratório são apresentados no anexo.

Em função dos resultados apresentados, conclui-se que os materiais disponíveis nos empréstimos apresentam características adequadas para a utilização nos aterros compactados. Apresentam ainda boas condições para exploração e trabalhabilidade, prevendo-se que será necessário o umedecimento prévio do material para execução dos aterros

**4.0 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

## **4.0 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS**

Os estudos hidrológicos constituíram na descrição detalhada dos aspectos hidroclimatológicos, estudo das cheias intensas, estudo da cheia de projeto, estudo do volume regularizado e simulações de interferência do açude Chile na regularização do açude Santo Antônio de Russas.

### **4.1 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA**

As características físicas de uma bacia são elementos de grande importância, pois, dentre outros fatores, influenciam fortemente em seu regime hidrológico. Os principais elementos que caracterizam uma bacia são área e sistema de drenagem, forma e relevo. A seguir, será calculado e descrito detalhadamente cada um destes elementos.

#### **4.1.1 – Área de Drenagem**

A área de drenagem é o elemento básico para se calcular as outras características físicas. A bacia hidrográfica do Açude Chile, que pode ser visualizada na Figura 4.1.1, encerra uma área de 155,81 km<sup>2</sup>.

#### **4.1.2 – Forma da Bacia**

A forma superficial de uma bacia hidrográfica é uma importante característica, pois influencia no tempo de concentração da mesma.

Dentre os vários índices utilizados para se determinar a forma de uma bacia, dois merecem destaques: o coeficiente de compacidade e o fator de forma.

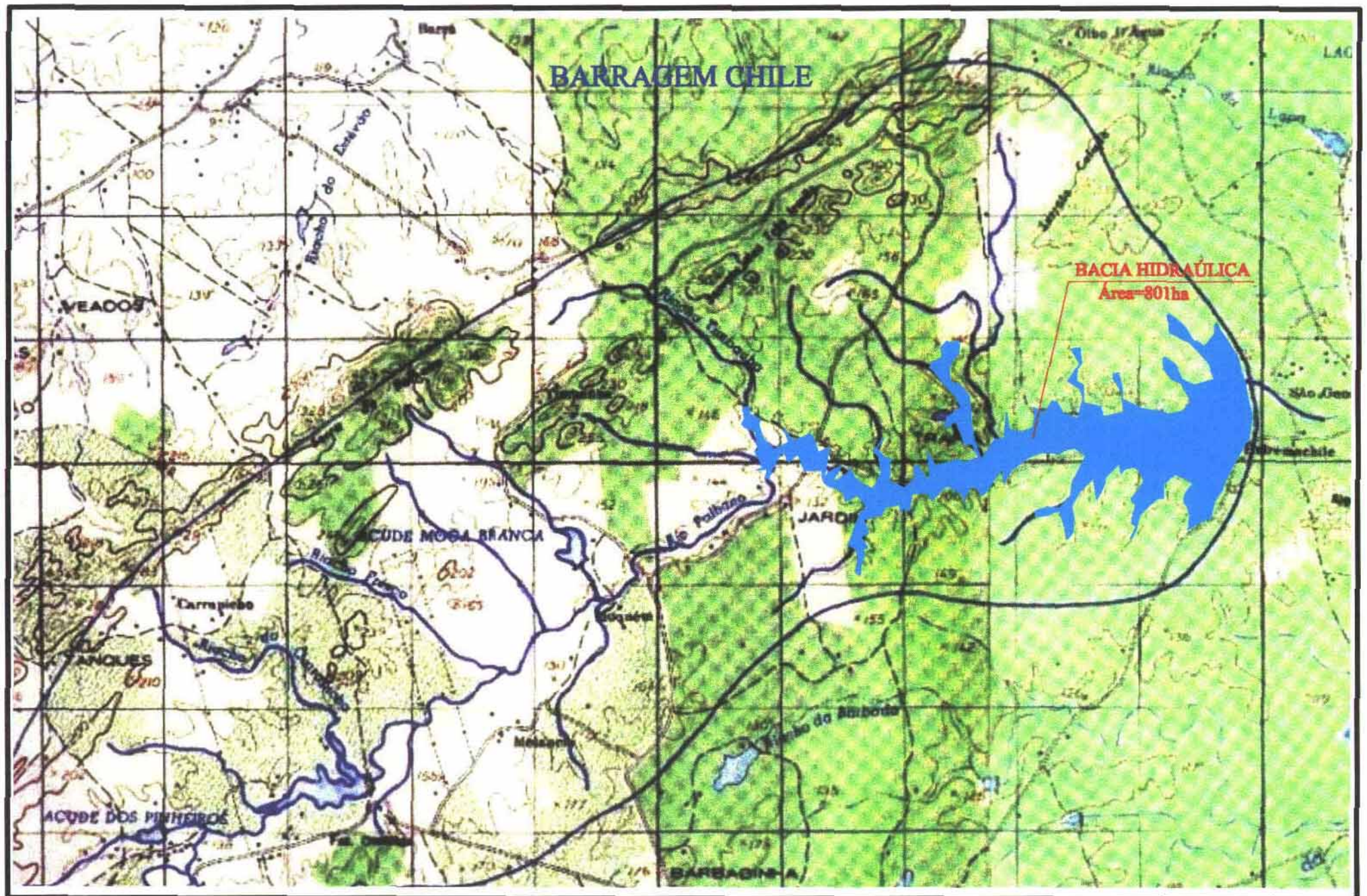
##### **4.1.2.1 – Coeficiente de Compacidade (Kc)**

Também conhecido como índice de Gravelius – Kc é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a da bacia.

O Kc é um dos coeficientes que indica a tendência de enchente na bacia. Quanto mais próximo da unidade for o valor de Kc, maior a tendência de enchente na bacia.



FIGURA 4.1.1 - BACIA HIDROGRÁFICA DO AÇUDE CHILE





$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{onde}$$

P Perímetro da bacia em km (P = 55.65)

A Área da bacia (A = 140,45 km<sup>2</sup>)

$$K_c = 1.31$$

#### 4.1.2.2 – Fator de forma (K<sub>f</sub>)

É a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia

O fator de forma também é outro índice indicativo da maior ou menor tendência para enchentes de uma bacia

$$K_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{onde}$$

A: área da bacia = 140,45 km<sup>2</sup>

L: extensão do maior curso d'água = 26,71 km

$$K_f = \frac{140,45}{(26,71)^2} \Rightarrow K_f = 0,20$$

### 4.1.3 – Sistema de Drenagem

#### 4.1.3.1 – Ordem dos Cursos D'água

A ordem dos curso d'água reflete o grau de ramificação dentro da bacia e é determinado segundo o método de Horton

A bacia do Rio Palhano no açude Chile é classificada como de ordem 3.

#### 4.1.3.2 – Densidade de Drenagem (D<sub>d</sub>)

A densidade de drenagem (D<sub>d</sub>) é expressa pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e a sua área total. Para a bacia hidrográfica do Açude Chile a D<sub>d</sub> será.

$$D_d = L / A \quad \text{onde}$$

D<sub>d</sub> = Densidade de Drenagem em km / km<sup>2</sup>

$L$  = Somatória dos comprimentos dos cursos d'água em km – 77,29 km

$A$  = Área da bacia hidrográfica em  $\text{km}^2$

$D_d = 0,55 \text{ km} / \text{km}^2$

#### 4.1.3.3 – Extensão Média do escoamento Superficial

Este índice é definido como sendo a distância média em que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento se desse em linha reta desde onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso d'água qualquer da bacia.

$$I = \frac{A}{4L_t} = \frac{140,45}{4 \times 26,71} \quad \text{Onde}$$

$I$  = extensão média do escoamento superficial em km;

$A$  = área da bacia em  $\text{km}^2$ ,

$L_t$  = extensão total do curso d'água principal em km;

$I = 1,31 \text{ km}$

#### 4.1.4 – Caracterização do Relevo

A caracterização do relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre a meteorologia da mesma, visto que a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude

A bacia do Açude Chile apresenta características predominantes do semi-árido nordestino, com relevo do tipo R-5 (forte), segundo a classificação de NOUVELOT.

As altitudes variam de cota 425 na serra do Palhano até a cota 80 no talvegue do açude Chile

#### 4.1.5 – Solo e Vegetação

Os solos predominantes na região em estudo, são o Podzólico Vermelho Eutrófico e Distrófico e o solo Litólico Eutrófico e Distrófico. Os primeiros incluem solos profundos a moderadamente profundos, sendo raro os solos rasos, com textura variando de média a argilosa, geralmente bem drenados, exceto os de caráter plintico que são moderadamente a imperfeitamente drenados. Os solos Litólicos Eutrófico e Distrófico são rasos ou muito rasos,

não hidromórficos, pouco desenvolvidos, normalmente pedregosos e rochosos; possuindo apenas horizonte A diretamente assentado sobre a rocha ou sobre o horizonte C, de pequena espessura e geralmente com muitos minerais primários.

A vegetação predominante na região é a caatinga arbustiva densa

## **4.2 – CLIMATOLOGIA**

A região da bacia do açude Chile encontra-se sob clima de alto poder de evaporação, provocando um regime de escoamento de superfície de alta variabilidade, com cursos d'água intermitentes, apresentando vazões nulas por longos períodos, coincidindo com épocas em que mais pronunciado é o "déficit" hídrico.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BWx', ou seja, clima muito quente ou megatérmico, seco com irregularidades de chuvas de verão ou outono

Utilizando a metodologia de Thomthwaite, que introduz a evapotranspiração potencial como elemento determinante do clima, este é do tipo C1dA'a', classificado como seco, sub-úmido e megatérmico com pequeno ou nenhum excesso de água

Analisando os dados observados no posto pluviométrico de Ibicuitinga e na estação meteorológica de Morada Nova, detalharam-se as características climáticas da área, descritos a seguir

### **4.2.1 – Pluviometria**

A análise destes postos mostra que a região é caracterizada por acentuada irregularidade pluviométrica, tanto a nível mensal como anual, podendo-se observar que os maiores índices de precipitação ocorrem no primeiro semestre, particularmente nos meses de março e abril, havendo ainda valores elevados, em alguns anos, no mês de dezembro. O período que apresenta ausência de chuvas concentra-se nos meses de agosto a novembro

Para o cálculo da precipitação média anual na bacia, utilizaram-se dados do posto pluviométrico de Morada Nova, cujas características estão detalhadas no ESTUDOS DAS CHUVAS INTENSAS

### **4.2.2 – Temperatura**

O regime térmico da área tem como característica básica os elevados valores de temperatura, em contraste com baixas amplitudes durante o ano.

As maiores temperaturas foram observadas no período de setembro a dezembro, enquanto as menores ocorreram nos meses de junho a agosto.

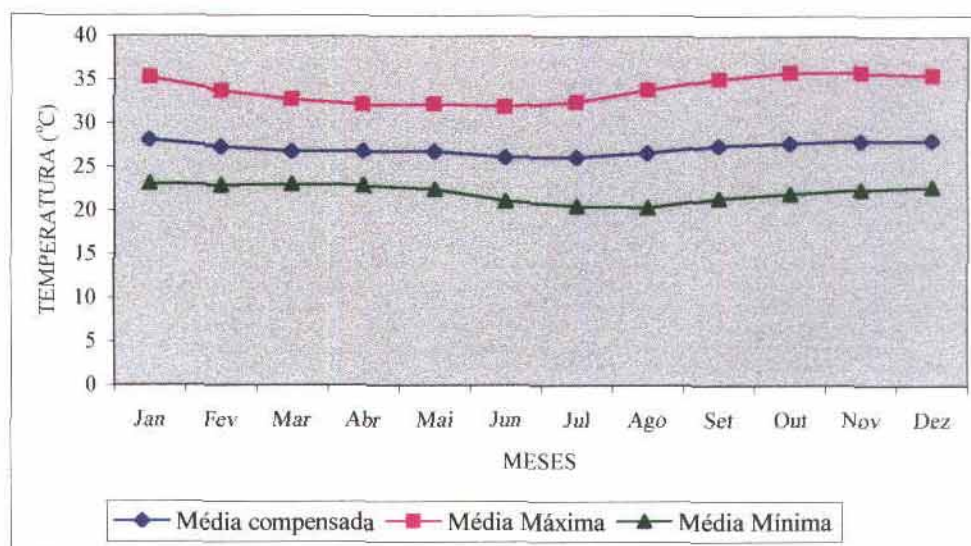
A temperatura média compensada da região registra uma máxima de 28,1°C nos meses de dezembro e janeiro com mínima de 26,1°C em julho.

O Quadro 4.2.1 e a Figura 4.2.1 mostram as médias mensais das temperaturas.

**QUADRO 4.2.1 - TEMPERATURAS**

Temperatura	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média compensada	28,1	27,3	26,8	26,8	26,8	26,1	26,1	26,6	27,4	27,7	28,0	28,1
Média Máxima	35,2	33,7	32,7	32,1	32,2	31,9	32,4	33,8	35,1	35,8	35,8	35,5
Média Mínima	23,1	22,9	23,0	22,9	22,4	21,1	10,5	20,4	21,4	21,9	22,4	22,7

**FIGURA 4.2.1 – TEMPERATURA MÁXIMA, MÍNIMA E COMPENSADA  
ESTAÇÃO MORADA NOVA**



### 4.2.3 – Umidade Relativa e Insolação

Na região do açude Chile, os maiores índices de umidade relativa do ar concentram-se no primeiro semestre, principalmente no mês de abril, quando atinge o valor máximo de 79%, decrescendo na época de estiagem para 60% em setembro e outubro. A umidade relativa média anual na área é de 67,7%.

A insolação, que expressa o tempo em que o sol esteve exposto na estação, sem o impedimento da nebulosidade, possui uma configuração inversa a da umidade relativa, ou seja, no primeiro semestre do ano, período em que a umidade relativa do ar se eleva, a insolação

diminui. já no segundo semestre, a insolação aumenta consideravelmente, enquanto a umidade relativa decresce

O trimestre com maior taxa de evaporação é agosto/outubro, enquanto os menores índices acontecem nos meses de fevereiro a abril. A insolação média anual é da ordem de 2 920 h.

O Quadro 4.2.2 mostra os valores médios mensais de umidade relativa e insolação.

**QUADRO 4.2.2 – UMIDADE RELATIVA DE AR E INSOLAÇÃO**

Parâmetro	Jan.	Fev.	Mar	Abr.	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Umidade (%)	64	71	77	79	76	73	67	63	60	60	60	62
Insolação (h)	243	192	194	206	233	142	164	264	270	286	267	259

#### 4.2.4 – Evaporação e Evapotranspiração

A evaporação média anual observada no tanque Classe A é de 2 476 mm. Os índices mais acentuados ocorrem no segundo semestre, particularmente nos meses de setembro e outubro, enquanto os menores ocorrem no bimestre março/abril

#### 4.2.5 - Ventos

A estação meteorológica de Morada Nova registra ventos fracos, com velocidade média em torno de 3,00 m/s, dirigindo-se predominantemente no sentido este-nordeste o ano todo

#### 4.2.6 – Resumo dos Índices Climáticos

Pluviometria média anual-----	832,60 mm
Semestre chuvoso-----	Jan /Jun
Trimestre úmido-----	Fev /Abr.
Trimestre seco-----	Ago/Out
Mês de maior pluviosidade-----	Mar
Temperatura média anual-----	26,2°C
Média das temperaturas mínimas-----	20,0°C
Média das temperaturas máximas-----	33,8°C
Amplitude das médias extremas-----	11,7°C
Umidade relativa média anual-----	67,7%
Período de maior umidade relativa-----	Mar/Abr

Período de menor umidade relativa-----	Set/Out
Insolação anual-----	2 900 horas
Período de menor insolação-----	Fev./Abr.
Ventos predominante-----	SeE
Velocidade média dos ventos-----	3,00 m/s
Evaporação média anual em tanque classe A-----	2 476 mm
Período de menor evaporação-----	Fev /Abr.
Período de maior evaporação-----	Ago/Out
Classificação climática de Köppen-----	BWx'

### 4.3 - ESTUDO DAS CHUVAS INTENSAS

#### 4.3.1- Objetivos

Considerando a inexistência de uma série de observações fluviométrica na bacia, a determinação da cheia de projeto foi feita a partir da transformação de chuva em deflúvio. Em consequência, faz-se necessário os estudos das chuvas intensas da região que visam fornecer elementos aos estudos subseqüentes para cálculo da cheia de projeto

#### 4.3.2- Metodologia

Para determinação das chuvas intensas, lançou-se mão do método do Prof Taborga Torrico explicitado em sua publicação "Práticas Hidrológicas" A justificativa desta metodologia deve-se ao fato da mesma ser indicada para bacias com áreas de drenagem inferior a 2.500 Km<sup>2</sup>, além de já ter sido utilizada em grande escala na região nordeste do Brasil, obtendo-se resultados satisfatórios na avaliação do escoamento superficial para dimensionamento de barragens, obras de drenagem, vertedouros, permitindo a obtenção de chuvas intensas de curta duração em locais onde não há dados pluviográficos, caso em que se enquadra a área em estudo

A aplicação desta metodologia consiste basicamente das etapas seguintes

##### 4 3 2 1 - Seleção do Posto Pluviométrico

Escolheu-se o posto de Morada Nova por ser este o mais próximo da área em estudo com maior dados na série histórica de chuvas máximas diárias (1912 a 1976). O posto de Ibicuitinga embora sendo mais próximo da área que o de Morada Nova foi excluído por dispor apenas de

20 anos de dados (1962 a 1982). O código do posto escolhido é 3803224 com coordenadas geográficas 4°58' de latitude e 38°38' de longitude

#### 4.3.2.2 - Estudos Probabilísticos das Precipitações Diárias

Os estudos probabilísticos foram efetuados objetivando conhecer as precipitações máximas diárias associadas aos diversos períodos de retornos.

Os valores das precipitações máximas diárias encontram na Tabela 4.3 1 e foram obtidas diretamente da home page da SUDENE na internet.

**Tabela 4.3.1 – Precipitações Máxima Diária de Morada Nova em mm**

ANO	CHUVA	Pi - Pmedia	(Pi - Pmed)^2	(Pi - Pmed)^3	ANO	CHUVA	Pi - Pmedia	(Pi - Pmed)^2	(Pi - Pmed)^3
1912	55,00	-17,56	308,36	-5414,98	1944	60,80	-11,76	138,31	-1626,51
1913	78,00	5,44	29,59	160,96	1945	91,00	18,44	340,02	6269,90
1914	95,00	22,44	503,54	11299,26	1946	80,00	7,44	55,35	411,78
1915	63,00	-9,56	91,40	-873,81	1948	55,80	-16,76	280,91	-4708,11
1916	83,00	10,44	108,99	1137,79	1949	140,00	67,44	4548,11	306723,15
1917	78,00	5,44	29,59	160,96	1950	141,70	69,14	4780,30	330508,13
1918	51,00	-21,56	464,85	-10022,26	1951	41,00	-31,56	996,05	-31435,77
1919	62,00	-10,56	111,52	-1177,69	1952	79,00	6,44	41,47	267,05
1920	49,00	-23,56	555,09	-13078,06	1953	46,00	-26,56	705,45	-18736,99
1921	105,80	33,24	1104,88	36725,74	1954	33,00	-39,56	1565,02	-61912,64
1922	99,00	26,44	699,06	18482,84	1955	62,00	-10,56	111,52	-1177,69
1923	52,00	-20,56	422,73	-8691,39	1956	62,20	-10,36	107,34	-1112,04
1924	120,00	47,44	2250,52	106764,12	1957	69,50	-3,06	9,37	-28,66
1925	64,30	-8,26	68,23	-563,62	1958	52,50	-20,06	402,42	-8072,60
1926	92,00	19,44	377,90	7346,28	1959	73,00	0,44	0,19	0,08
1927	71,00	-1,56	2,43	-3,80	1960	133,00	60,44	3652,96	220783,45
1928	80,00	7,44	55,35	411,78	1961	72,50	-0,06	0,00	0,00
1929	68,00	-4,56	20,80	-94,84	1962	56,20	-16,36	267,66	-4379,00
1930	40,00	-32,56	1060,17	-34519,61	1963	56,00	-16,56	274,24	-4541,57
1931	82,00	9,44	89,11	841,15	1964	62,30	-10,26	105,27	-1080,15
1932	51,00	-21,56	464,85	-10022,26	1965	73,50	0,94	0,88	0,83
1933	85,00	12,44	154,75	1924,99	1966	49,30	-23,26	541,04	-12584,82
1934	85,00	12,44	154,75	1924,99	1967	60,60	-11,96	143,05	-1710,91
1935	140,00	67,44	4548,11	306723,15	1968	59,00	-13,56	183,88	-2493,50
1936	92,00	19,44	377,90	7346,28	1969	73,30	0,74	0,55	0,40
1937	71,00	-1,56	2,43	-3,80	1970	31,30	-41,26	1702,41	-70242,13
1938	95,00	22,44	503,54	11299,26	1971	0,20	-72,36	5236,02	-378879,75
1939	37,00	-35,56	1264,54	-44967,31	1972	77,20	4,64	21,53	99,88
1940	106,00	33,44	1118,21	37392,67	1973	113,00	40,44	1635,37	66133,76
1941	43,50	-29,06	844,50	-24541,50	1974	74,00	1,44	2,07	2,98
1942	23,60	-48,96	2397,11	-117363,40	1975	50,40	-22,16	491,08	-10882,48
1943	57,00	-15,56	242,12	-3767,52	1976	67,80	-4,76	22,66	-107,87



#### 4.3.2.3 - Precipitações Associadas aos Diversos Períodos de Retorno

Para se obter as precipitações associadas aos diversos período de retorno, utilizaram-se o método de Gumbel

##### 4.3.2.3.1 - O Método Gumbel

Segundo Gumbel, a probabilidade (P) de um valor extremo dado (x) ser atingido, isto é, de acontecer um valor menor ou igual a (x), é:

$$P = e^{-e^{-y}}$$

Sendo y (variável reduzida) dada por:

$$y = (x - x_f) \frac{S_n}{S_x}$$

Onde  $x_f$  (moda dos valores extremos) dada por:

$$x_f = \bar{x} - S_x \left( \frac{\bar{y}_n}{S_n} \right)$$

é a média da variável x

$\bar{y}_n$  e  $S_n$  a média e o desvio padrão da variável reduzida

$\bar{x}$   $S_x$  desvio-padrão da variável x

A Tabela 4.3.2 mostra os valores da variável reduzida y e associados às probabilidades e período de retorno enquanto a Tabela 4.3.3 apresenta os valores esperados da média ( $\bar{y}_n$ ) e desvio padrão ( $S_n$ ) da variável reduzida (y) em função do número de dados (n)

**Tabela 4.3.2 – Variável Reduzida, Probabilidades e Período de Retorno**

Variável Reduzida (y)	Período de Retorno ( $T_r$ )	Probabilidade (1 - P)	Probabilidade (P)
0.000	1,58	0,632	0,368
0.367	2,00	0,500	0,500
0.579	2,33	0,429	0,571
1,500	5	0,200	0,800
2.250	10	0.100	0,900

Variável Reduzida (y)	Período de Retorno (T <sub>r</sub> )	Probabilidade (1 - P)	Probabilidade (P)
2.970	20	0,050	0,950
3.395	30	0,033	0,967
3.902	50	0,020	0,980
4.600	100	0,010	0,990
5.296	200	0,005	0,995
5.808	300	0,003	0,997
6.214	500	0,002	0,998
6.907	1.000	0,001	0,999
8.805	10 000	0,0001	0,9999

**Tabela 4.3.3 – Valores esperados da média ( $\bar{y}_n$ ) e desvio padrão (S<sub>n</sub>) da variável reduzida (y) em função do número de dados (n)**

n	$\bar{y}_n$	S <sub>n</sub>	n	$\bar{y}_n$	S <sub>n</sub>
20	0.52	1.06	80	0.56	1.19
30	0.54	1.11	90	0.56	1.20
40	0.54	1.14	100	0.56	1.21
50	0.55	1.16	150	0.56	1.23
60	0.55	1.17	200	0.57	1.24
70	0.55	1.19	∞	0.57	1.28

Com os dados da Tabela 4.3.1 calculou-se a média e o desvio padrão bem como as precipitações máximas esperadas associadas ao período de retorno (TR) de 1000 e 10 000 anos. Os cálculos encontram-se a seguir e os resultados estão resumidos na Tabela 4.3.4.

- Média das precipitações máximas diárias: = 71,43
- Desvio padrão.  $\sigma = 27.81$
- Número de anos de observação (n) = 64
- Como valor de n = 64 encontra-se na Tabela 4.3 os valores de  $\bar{y}_n$  e S<sub>n</sub>
- Média esperada ( $\bar{y}_n$ ) da variável reduzida (y):  $\bar{y}_n = 0,55$
- Desvio padrão esperado (S<sub>n</sub>) da variável reduzida (y): S<sub>n</sub> = 1,17
- Moda dos valores extremos:  $x_f$

$$x_f = \bar{x} - \sigma \left( \frac{y_n}{S_n} \right) \rightarrow x_f = 71,43 - 27,81 \left( \frac{0,55}{1,17} \right) \rightarrow x_f = 58,36$$

- Valores da variável reduzida para os diversos períodos de retorno

$$\text{TR} = 1000 \text{ anos} \rightarrow y = 6,907$$

$$\text{TR} = 10000 \text{ anos} \rightarrow y = 8,805$$

- Cálculo das Precipitações Esperadas Associados aos Diversos TR

Com os valores de  $y$ , calcula-se  $x$  na equação abaixo que vem a ser o valor da precipitação máxima esperada

$$y = (x - x_f) \frac{S_n}{\sigma} \rightarrow x = \frac{y \cdot \sigma + x_f \cdot S_n}{S_n} \rightarrow x = \frac{y \cdot 27,81 + 58,36 \cdot 1,17}{1,17}$$

$$x = \frac{27,81y + 68,28}{1,17}$$

$$\text{TR} = 1000 \text{ anos} \rightarrow y = 6,907 \rightarrow x = 222,50 \text{ mm}$$

$$\text{TR} = 10000 \text{ anos} \rightarrow y = 8,805 \rightarrow x = 267,61$$

**Tabela 4.3.4 – Precipitações Máximas Diárias**

Período de Retorno (TR em Anos)	Frequência (%)	Precipitações Máximas (mm)
1.000	0,10	222,50
10.000	0,01	267,61

4 3 2 4 - Cálculo da Chuva Virtual de 24 horas de duração ( $P_{24h} = 1,095P_{1 \text{ dia}}$ )

Para o cálculo da chuva virtual de 24 horas de duração, multiplicam-se os valores das chuvas de duração de um dia pelo fator 1,095. Os resultados encontram-se na Tabela 4.3.5

**Tabela 4.3.5 – Chuvas virtuais de 24 horas de duração**

Período de Retorno (TR em Anos)	Precipitações Diárias (mm)	$P_{24h}$ (mm)
1.000	222,50	243,64
10.000	267,61	293,03

#### 4 3 2 5 - Determinação do ISOZONA a qual Pertence a Bacia

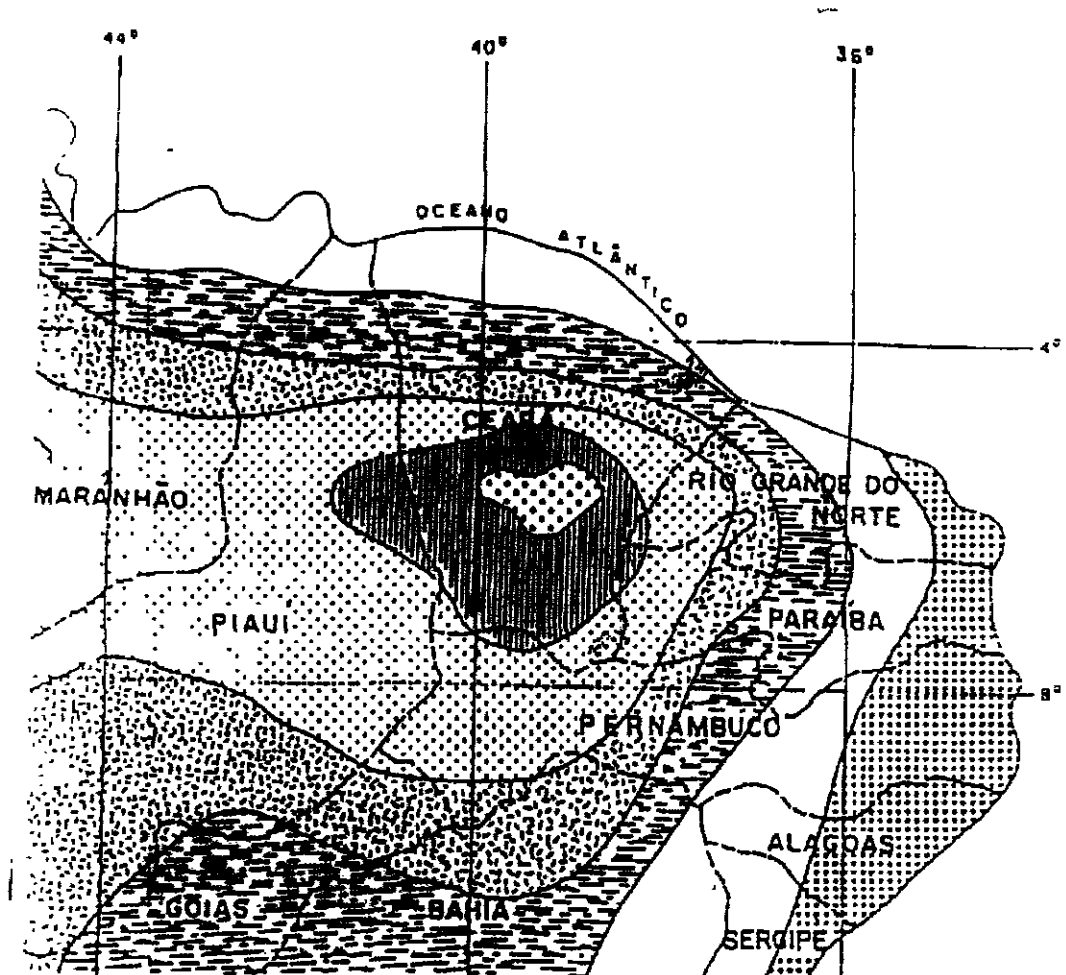
Localizou-se o posto de Morada Nova na Figura 4.1, determinando-se a ISOZONA “F” como sendo a sua correspondente.

#### 4 3 2 6 - Cálculo da Chuva de 1 hora de Duração

Na tabela da Figura 4.3 1 fixou-se a ISOZONA escolhida - “F”, e para os tempos de recorrência previstos (1 000 e 10.000 anos) as percentagens “R” para 1 hora de duração. Os resultados encontram-se na tabela 4.3.6.

**TABELA 4.3.6 – Valores das precipitações intensas pontuais**

<b>TR (ANOS)</b>	<b>P 24 horas (mm)</b>	<b>R</b>	<b>P 1 hora (mm)</b>
1 000	243,64	0,427	104,03
10 000	293,03	0,413	121,02



ISOZONAS DE IGUAL RELAÇÃO

TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS

ISOZONA	1 HORA / 24 HORAS CHUVA										5 min / 24h CHUVA	
	5	10	15	20	25	30	30	100	1000	10.000	5-50	100
B	38,1	37,8	37,4	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,0	38,4	37,2	36,2	9,6	9,0
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,2	42,6	42,2	40,8	39,6	12,8	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,8	44,6	44,5	44,1	42,7	41,3	15,5	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,0	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	18,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,8	48,6	48,3	47,0	46,3	44,8	16,7	14,9

FIGURA 4.3.1 - MAPA DAS ISOZONAS

4 3 2 7 - Conversão da Chuva Pontual para a Chuva em Toda a Área da Bacia

Esta conversão é feita através da equação.

$$\frac{P_a}{P_o} = (1 - W \log \frac{A}{A_o}), \quad \text{onde:}$$

$P_a$  = precipitação média sobre a bacia;

$P_o$  = precipitação no centro de gravidade da bacia, tomada igual a precipitação em Ibicutinga

$W$  = constante que depende do local (0,10 para o Brasil),

$A$  = área da bacia hidrográfica (140,45 km<sup>2</sup>);

$A_o$  = área base na qual  $P_a = P_o$  (25 km<sup>2</sup>)

$$\frac{P_a}{P_o} = 0,93$$

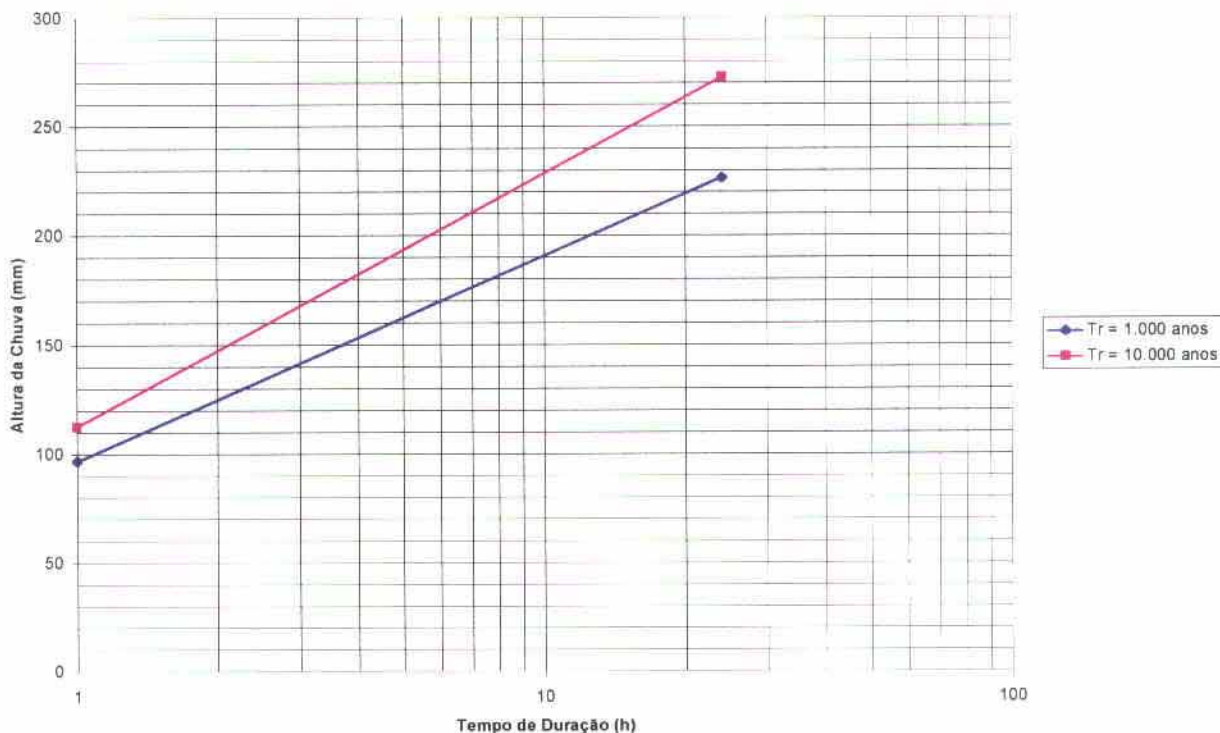
Multiplica-se o fator 0,93 pelos valores das chuvas de 1 hora e 24 horas (Tabela 4.6), obtendo as precipitações intensas espaciais de 1h e 24h de duração para os diversos períodos de retornos distribuídos na bacia hidrográfica do Açude Chile. Os resultados encontram-se na Tabela 4.3 7 abaixo

**TABELA 4.3.7 – Valores das Chuvas Intensas Espacial Distribuídas na Bacia do Açude Chile**

TR (ANOS)	P 24 horas (mm)	P 1 hora (mm)
1 000	226,58	96,75
10.000	272,52	112,55

4 3 2 8 - Determinação Das Chuvas Intensas para Durações entre 1 Hora E 24 Horas

Plotando-se em papel de probabilidade os valores de 1 hora e 24 horas encontrados na tabela 4 7 e ligando-se estes pontos por uma reta, pode-se, a partir daí, determinar os valores das precipitações intensas para qualquer duração entre 1 hora e 24 horas. O resultado encontra-se na Figura 4.3.2



**FIGURA 4.3.2 –CURVA ALTURA X TEMPO DE DURAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO**

**4.4 - ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO**

O estudo das cheias de projeto tem como objetivo calcular as vazões de pico na bacia do açude Chile desde sua foz até o exutório para os diversos períodos de retorno.

A metodologia usada foi o do Hidrograma Unitário Curvilíneo do Soil Conservation Service (SCS).

Considerou-se para a determinação deste hidrograma uma precipitação unitária de 1 cm, ocorrendo sobre toda a bacia, com uma duração igual a um quinto do tempo de concentração da bacia.

As etapas de cálculo foram as seguintes:

**a) Cálculo do Tempo de Concentração (Tc)**

O tempo de Concentração da bacia será calculado através da fórmula do **“California Highways and Public Road”**

$$Tc = 57 \times (L^3/H)^{0,385} \quad \text{onde:}$$

$T_c$  = Tempo de Concentração em minutos

$L$  = Extensão do maior Talvegue em Km ( $L = 26,71$  Km)

$H$  = Máximo desnível da bacia medido ao longo de  $L$  em metros ( $H = 122m$ )

Para os valores acima tem-se.

$$T_c = 57 \times [(26.71)^3 / 122]^{0,385} = 398,51 \text{ min}$$

$$T_c = 6,64 \text{ horas}$$

**b) Cálculo da Precipitação Total de Duração Igual ao Tempo de Concentração da Bacia.**

Os valores de precipitação total de uma duração de 6,64 horas, foram retirados diretamente da Figura 4.3 2 e são apresentados na Tabela 4.4.1

**TABELA 4.4.1 – Precipitação Total para  $TR = T_c$**

TR (ANOS)	Precipitação Total (mm)
1 000	174,44
10 000	207,11

**c) Cálculo do Hidrograma Unitário Triangular (HUT) para precipitação de 1 cm (10 mm) e uma chuva de duração igual a um quinto do tempo de concentração da bacia.**

**c.1) Duração do excesso de chuvas ( $T_r$ )**

$$T_r = 6,64 \text{ horas}$$

**c.2) Tempo até a vazão de pico ( $T_p$ )**

$$T_p = 0,6T_c + 0,5T_r \Rightarrow T_p = 0,6 \times 6,64 + 0,5 \times 6,64$$

$$T_p = 7,30 \text{ horas}$$



**c.3) Tempo de base do hidrograma (T<sub>b</sub>)**

$$T_b = 2,67 \times T_p \Rightarrow T_b = 2,67 \times 7,30 \Rightarrow T_b = 19,50 \text{ horas}$$

**c.4) Vazão de pico do HUT (q<sub>p</sub>)**

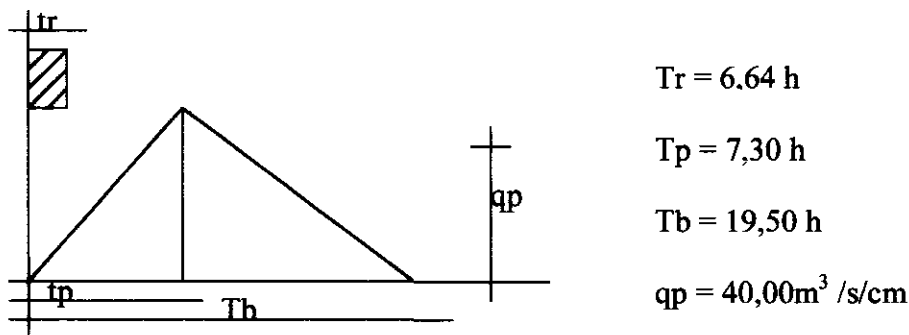
$$q_p = \frac{2,08 \times A}{t_p} = \frac{2,08 \times 140,45}{7,30} \Rightarrow q_p = 40,00 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{cm}$$

$$A = 140,45 \text{ Km}^2$$

$$q_p = 40,00 \text{ m}^3 / \text{s} / \text{cm}$$

Esse hidrograma tem a forma mostrada na Figura 4.4.1

**FIGURA 4.4.1**  
**HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR DO SCS**



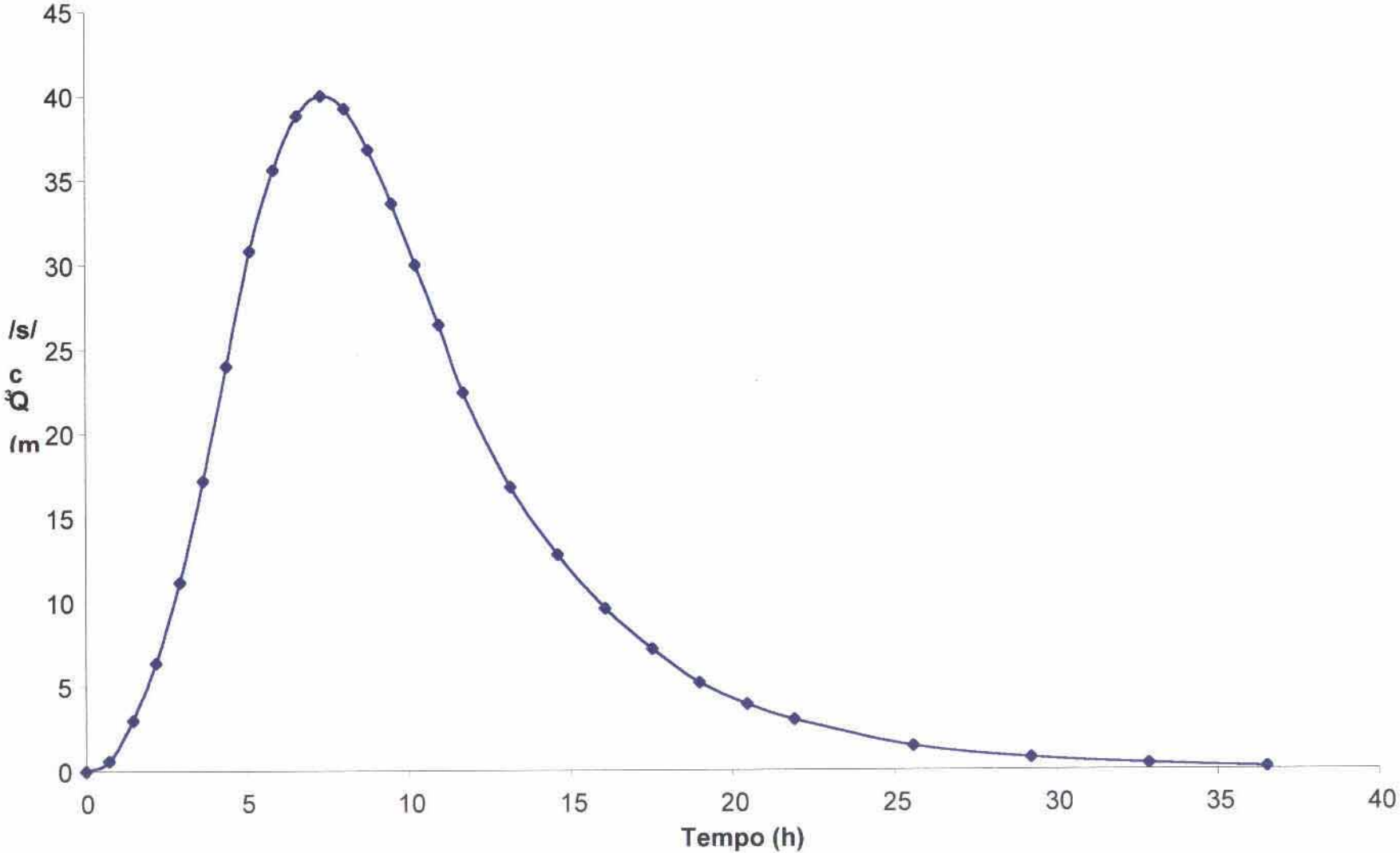
**d) Cálculo do HU para uma Chuva de 10 mm igual ao Tempo de Concentração da Bacia**

Partindo-se da relação do tempo e vazão de picos e das ordenadas do HUT adimensional do SCS, determinou-se o hidrograma curvilíneo para uma chuva de duração igual ao tempo de concentração da bacia. Os resultados foram obtidos de programa computacional desenvolvido em planilha eletrônica e podem ser observados na Tabela 4.4.2 que gerou a Figura 4.4.2

**TABELA 4.4.2 - Hidrograma Unitário para um  $T_r = T_c$** 

Adimensional do SCS		HU	
t/tp	q/qp	t (6,64h)	q (6,64h)
0.00	0.000	0,00	0,00
0.10	0.015	0,73	0,60
0.20	0.075	1,46	3,00
0.30	0.160	2.19	6,40
0.40	0.280	2,92	11,20
0.50	0.430	3,65	17,20
0.60	0.600	4,38	24,00
0.70	0.770	5,11	30,80
0.80	0.890	5,84	35,60
0.90	0.970	6,57	38,80
1.00	1.000	7,30	40,00
1.10	0.980	8,03	39,20
1.20	0.920	8,76	36,80
1.30	0.840	9,50	33,60
1.40	0.750	10,23	30,00
1.50	0.660	10,96	26,40
1.60	0.560	11,69	22,40
1.80	0.420	13,15	16,80
2.00	0.320	14,61	12,80
2.20	0.240	16,07	9,60
2.40	0.180	17,53	7,20
2.60	0.130	18,99	5,20
2.80	0.098	20,45	3,92
3.00	0.075	21,91	3,00
3.50	0.036	25.56	1,44
4.00	0.018	29,22	0,72
4.50	0,009	32,87	0,36
5.00	0,004	36,52	0,16

FIGURA 4.4.2 - HIDROGRAMA UNITÁRIO PARA UMA CHUVA DE DURAÇÃO TR = TC



000051

**e) Cálculo da Precipitação Efetiva (Pe)**

Para a determinação da precipitação efetiva, utilizou-se o método do “Curve Number” desenvolvido pelo SCS através da seguinte fórmula

$$Pe = (P-0,2S)^2 / (P+0,8S)$$

$$S = 25.400 / CN - 254 \quad \text{onde:}$$

Pe - excesso de chuva em mm

P - precipitação em mm

S - capacidade máxima da camada superior do solo S

CN - parâmetro que retrata as condições de cobertura do solo Adotou-se o valor 73 para a bacia do açude Chile

Aplicando-se a fórmula anterior às precipitações totais da Tabela 5.1, obtêm-se o excesso de chuva para os períodos de retornos conforme Tabela 4.4 3 a seguir.

**TABELA 4.4.3 – Valores das Precipitações Excedentes**

TR (anos)	Precipitação Efetiva (Pe)
1 000	97,07
10 000	125,64

**f) Cálculo dos Hidrogramas Totais**

Partindo do HU da Tabela 4.4.2, geraram-se os hidrogramas para os períodos de retorno de 1 000 e 10 000 anos utilizando-se a seguinte relação

$$Q_{tr} = Pe \times Q_u \quad \text{onde}$$

Q<sub>tr</sub> – Vazão no tempo i, para o período de retorno desejado;

Pe – Precipitação efetiva calculada para os diversos TR, em cm;

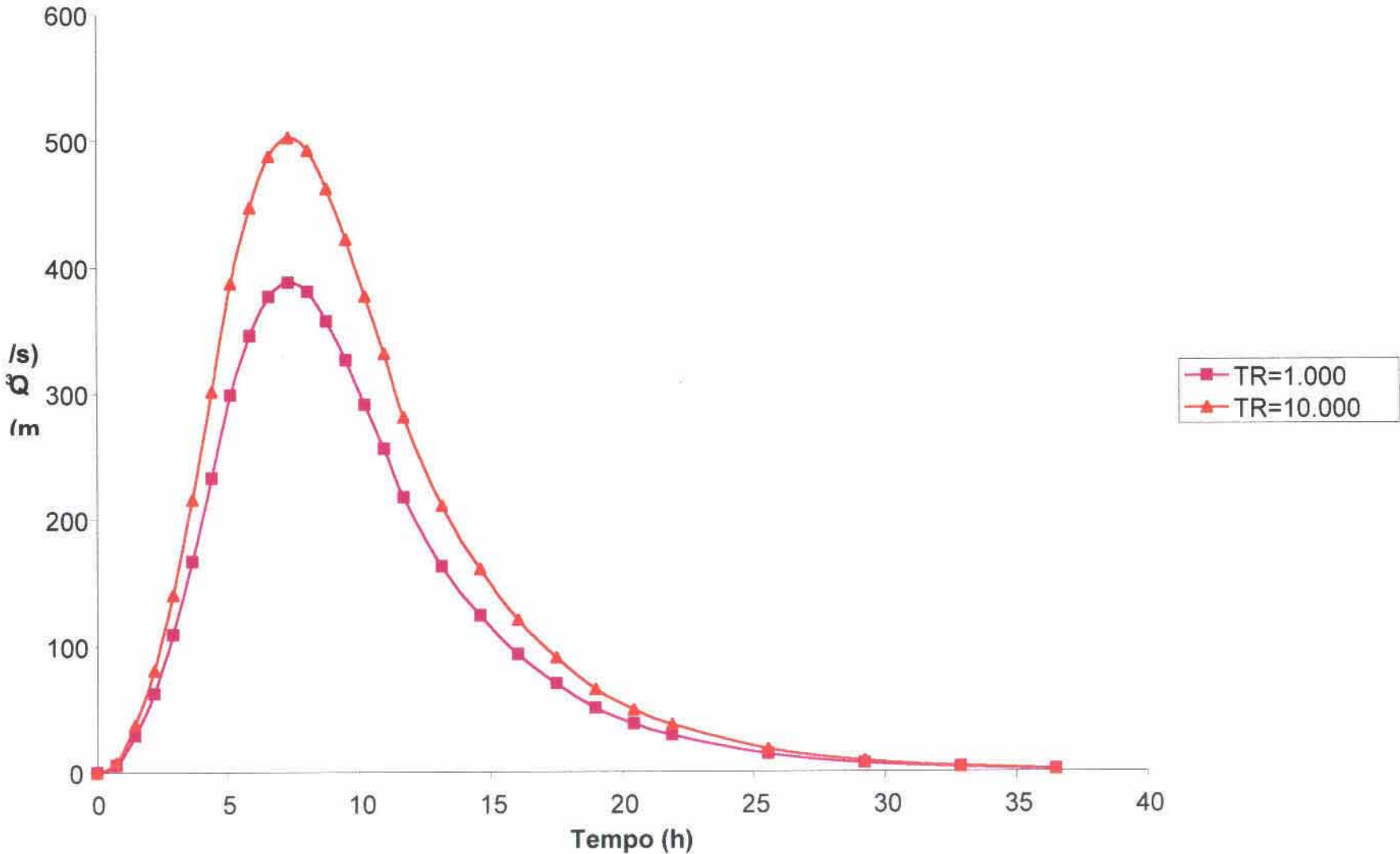
Q<sub>u</sub> – Vazão no tempo i, para o hidrograma unitário.

Os resultados encontram-se na Tabela 4.4.4 e Figura 4.4 3

**TABELA 4.4.4 - HIDROGRAMAS TOTAIS PARA OS DIVERSOS TR**

t (h)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	
	1 000 anos	10 000 anos
0,00	0,00	0,00
0,73	5,82	7,54
1,46	29,12	37,69
2,19	62,12	80,40
2,92	108,70	140,71
3,65	166,94	216,09
4,38	232,94	301,52
5,11	298,94	386,95
5,84	345,53	447,25
6,57	376,58	487,46
7,30	388,23	502,53
8,03	380,47	492,48
8,76	357,17	462,33
9,50	326,11	422,13
10,23	291,17	376,90
10,96	256,23	331,67
11,69	217,41	281,42
13,15	163,06	211,06
14,61	124,23	160,81
16,07	93,18	120,61
17,53	69,88	90,46
18,99	50,47	65,33
20,45	38,05	49,25
21,91	29,12	37,69
25,56	13,98	18,09
29,22	6,99	9,05
32,87	3,49	4,52
36,52	1,55	2,01

Figura 4.4.3 - Hidrograma de cheias- Açude



000054

## 4.5 – ESTUDO DO VOLUME REGULARIZADO

Este capítulo trata da escolha do volume regularizado, ou seja, aquele que se pode retirar anualmente com uma certa garantia

Com a definição deste volume, determina-se a capacidade da barragem .

### 4.5.1 - Metodologia

Adotou-se, inicialmente, a fixação do volume regularizado, utilizando o programa de simulação de reservatórios (SIMRES), desenvolvido pelo Departamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará – UFC

O programa realiza o balanço hídrico de operação para a retirada, com dada garantia. No caso em estudo, foi pesquisado 90% de garantia, conforme recomenda a Lei Estadual de Recursos Hídricos. A garantia refere-se ao percentual de anos onde a retirada não falha.

A equação do balanço é a de conservação de massas. É levado em consideração até o volume de água evaporado

A simulação contempla, também, a existência de outros corpos d'água a montante da barragem em estudo

No caso da Barragem Chile, existe a montante a Barragem Muquém, a qual foi incluída na simulação

A área da bacia hidrográfica do açude Chile é 88,56km<sup>2</sup> e do açude Muquém é 67,25km<sup>2</sup>

Para a realização do balanço hídrico é necessário conhecer a equação do volume acumulado, como função das alturas relativa ao datum de referência. Considerou-se a cota 80,0m igual a h=0,00m. O quadro 4.5.1 é mostrado a relação entre altura e volume

O volume é dado pela equação  $V(h)=\alpha h^3$ , onde h é a altura acima do datum. V é o volume em m<sup>3</sup> para esta altura e  $\alpha$  é o coeficiente de forma da bacia hidráulica, adimensional.

Para determinação do valor de  $\alpha$ , faz-se uma mudança de eixo da forma  $V(U)=\alpha U$ , onde  $U=h^3$ . No sistema VxU a relação entre V e U é linear e  $\alpha$  é obtido por regressão linear, com a condição do parâmetro de intercepto ser nulo.

A determinação da regressão linear foi feita pelo EXCEL e é mostrado nos quadros 4.5.2 e 4.5.3 e no gráfico 4.5.1, a seguir

**QUADRO Nº 4.5.1- ALTURA x VOLUME**

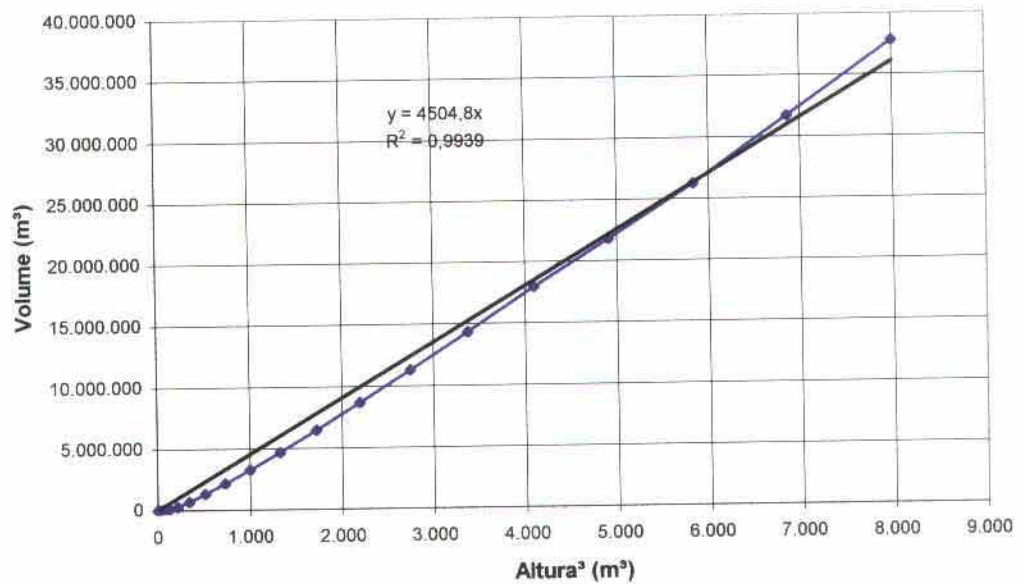
<b>COTA (m)</b>	<b>ALTURA (m)</b>	<b>ÁREA (m²)</b>	<b>ÁREA MÉDIA (m²)</b>	<b>DISTÂNCIA (m)</b>	<b>VOLUME (m³)</b>	<b>VOLUME ACUMULADO (m³)</b>
80,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00
81,00	1,00	120,97	60,49	1,00	60,49	60,49
82,00	2,00	4 348,22	2 234,60	1,00	2 234,60	2 295,08
83,00	3,00	24 247,89	14 298,06	1,00	14 298,06	16 593,14
84,00	4,00	39 070,79	31 659,34	1,00	31 659,34	48 252,48
85,00	5,00	74 638,40	56 854,60	1,00	56 854,60	105 107,07
86,00	6,00	261 002,57	167 820,49	1,00	167 820,49	272 927,56
87,00	7,00	527 672,09	394 337,33	1,00	394 337,33	667 264,89
88,00	8,00	730 639,26	629 155,68	1,00	629 155,68	1 296 420,56
89,00	9,00	953 565,82	842 102,54	1,00	842 102,54	2 138 523,10
90,00	10,00	1 266 152,16	1 109 858,99	1,00	1 109 858,99	3 248 382,09
91,00	11,00	1 601 495,28	1 433 823,72	1,00	1 433 823,72	4 682 205,81
92,00	12,00	1 966 850,20	1 784 172,74	1,00	1 784 172,74	6 466 378,55
93,00	13,00	2 402 117,72	2 184 483,96	1,00	2 184 483,96	8 650 862,51
94,00	14,00	2 838 038,00	2 620 077,86	1,00	2 620 077,86	11 270 940,37
95,00	15,00	3 324 731,62	3 081 384,81	1,00	3 081 384,81	14 352 325,18
96,00	16,00	3 827 859,69	3 576 295,66	1,00	3 576 295,66	17 928 620,84
97,00	17,00	3 881 542,83	3 854 701,26	1,00	3 854 701,26	21 783 322,10
98,00	18,00	5 078 495,13	4 480 018,98	1,00	4 480 018,98	26 263 341,08
99,00	19,00	5 812 077,47	5 445 286,30	1,00	5 445 286,30	31 708 627,38
100,00	20,00	6 376 973,99	6 094 525,73	1,00	6 094 525,73	37 803 153,11



QUADRO Nº 4.5.2: ALTURA x VOLUME

H (m)	H³ (m³)	VOLUME ACUMULADO (m³)
0,00	0,00	0,00
1,00	1,00	60,49
2,00	8,00	2.295,08
3,00	27,00	16.593,14
4,00	64,00	48.252,48
5,00	125,00	105.107,07
6,00	216,00	272.927,56
7,00	343,00	667.264,89
8,00	512,00	1.296.420,56
9,00	729,00	2.138.523,10
10,00	1.000,00	3.248.382,09
11,00	1.331,00	4.682.205,81
12,00	1.728,00	6.466.378,55
13,00	2.197,00	8.650.862,51
14,00	2.744,00	11.270.940,37
15,00	3.375,00	14.352.325,18
16,00	4.096,00	17.928.620,84
17,00	4.913,00	21.783.322,10
18,00	5.832,00	26.263.341,08
19,00	6.859,00	31.708.627,38
20,00	8.000,00	37.803.153,11

GRÁFICO Nº 4.5.1: ALTURA³ x VOLUME



QUADRO Nº 4.5.3 RESUMO DO RESULTADO DA REGRESSÃO

RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,996946384
R-Quadrado	0,993902093
R-quadrado ajustado	0,943902093
Erro padrão	909571,9742
Observações	21

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	2,69691E+15	2,69691E+15	3259,81369	1,01588E-22
Resíduo	20	1,65464E+13	8,27321E+11		
Total	21	2,71346E+15			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
Variável X 1	4504,816333	61,82333752	72,86595182	9,77731E-26	4375,855171	4633,777496	4375,855171	4633,777496

Foi encontrado para a bacia hidráulica do açude Chile  $\alpha=4504.8$ , com coeficiente de determinação  $R^2=0,9939$

Face a inexistência de séries históricas de vazão no ponto do barramento do açude Chile, e mesmo em outros pontos dentro da bacia do rio Palhano, adotou-se a regularização da lâmina escoada para a obtenção dos parâmetros estatísticos, os deflúvios anuais, que são média, desvio padrão e coeficiente de variação

De posse dos parâmetros da bacia, foi gerado uma série sintética de 5000 valores de deflúvios afluentes à barragem, ajustando uma série de 5000 valores de números aleatórios, de distribuição uniforme entre 0 e 1, os quais podem ser associados à probabilidade de eventos aleatórios e independentes

A esses números probabilísticos, através da função inversa, obtém-se, ajustados à função gama de dois parâmetros, a série sintética de deflúvios anuais ao açude Chile. Essas operações matemáticas são executadas por um programa de computador, desenvolvido para fazer a integração numérica

#### 4.5.1.1 – Deflúvio Anual

O deflúvio médio anual  $\mu$  foi calculado inicialmente multiplicando-se a área da bacia hidrográfica pela lâmina média escoada em Ibicuitinga, cujo valor foi obtido diretamente do Atlas do Plano Estadual dos Recursos Hídricos, como sendo 65mm/ano

$$\mu = A \times d$$

onde

$\mu$  = deflúvio médio anual do Açude Chile.

A = área da bacia hidrográfica, igual a 155,81km<sup>2</sup>

d = lâmina média anual escoada em Ibicuitinga, igual 65mm.

Assim sendo, o deflúvio médio total afluente a barragem do Chile será:

$$\mu = 15581 \text{hm}^2 \times 0,00065 \text{hm} = 10,12 \text{hm}^3.$$

#### 4.5.1.2 – Desvio Padrão Médio Anual do Deflúvio

Por falta de dados para o cálculo do coeficiente de variação, adotou-se por recomendação do consultor Prof. Nilson Campos o valor de CV=1,1.

Portanto, o desvio padrão médio anual será.

$$\sigma = CV \times \mu$$

$$\sigma = 1,1 \times 10,12 = 11,13 \text{ hm}^3$$

#### 4 5 1 3 - Lâmina Evaporada na estação seca ( $E_L$ )

Obteve-se da estação meteorológica de Morada Nova os valores de evaporação mensal medidos no tanque classe A, que são mostrados no quadro 4.5.4 a seguir

**QUADRO 4.5.4 - EVAPORAÇÃO DO TANQUE "A"**

MÊS	EVAPORAÇÃO (mm)	MÊS	EVAPORAÇÃO (mm)
Janeiro	224	Julho	194
Fevereiro	177	Agosto	261
Março	122	Setembro	305
Abril	105	Outubro	281
Maior	122	Novembro	272
Junho	150	Dezembro	263
<b>TOTAL</b>			<b>1.576</b>

Foi considerada para a simulação a lâmina evaporada apenas na estação seca, ou seja, de julho a dezembro. A este valor aplicou-se o fator corretivo de 0,80, característico do tanque classe "A".

A lâmina líquida evaporada a ser considerada é de:

$$E_L = 1576 \text{ mm} \times 0,80 \rightarrow E_L = 1260,80 \text{ mm}$$

#### 4 5 1 4 – Estudo da Regularização do Açude Chile

De posse da média e desvio padrão do deflúvio anual da lâmina evaporada, passa-se a utilizar o SIMRES para realização do balanço hídrico.

Como a Barragem Chile, hoje está construída na cota 93,0m, com soleira na cota 91,00m, acumulando 4,6hm<sup>3</sup>, o balanço hídrico foi realizado elevando a soleira das cotas 91,0m a 98,0m.

Para cada uma dessas situações, foi feito um lançamento preliminar das seções do maciço, bem como a simulação da construção de um perfil Creager no vertedouro.

Com base nos grandes itens de construção, tais como aterro compactado, muro vertedouro, rip-rap, rock-fill e tomada d'água, foram obtidos os custos de construção em cada um dos cenários, os quais são apresentados nos quadros 4.5.5 a 4.5.11, a seguir

De posse dos volumes regularizados, dos custos de execução, foi realizado a determinação do tamanho que a barragem deverá ficar.

Foi gerado sobre o mesmo regime de pluviometria média anual o volume afluente ao Chile e ao Muquém.

Da série primitiva com área de 155,81km<sup>2</sup>, obteve-se a série do Muquém, multiplicando os valores por 0,431 e o Chile por 0,569, cujo valor representa a relação entre as áreas. Veja que as três séries são caracterizadas por ter mesma média e mesmo desvio padrão

Os resultados do balanço hídrico são apresentados no quadro 4.5.12, a seguir

#### 4.5.1.5 – Escolha da Dimensão do Açude

De posse do balanço hídrico, realizado sobre diversas capacidades do açude, preparou-se o quadro 4.5.13 e o gráfico 4.5.2, o qual relaciona o custo da unidade de volume regularizado versus capacidade. Examinando este gráfico, verifica-se que os custos da água regularizada variam muito pouco entre as capacidades de 14,4hm<sup>3</sup> a 26,3hm<sup>3</sup>. A ampliação da barragem da capacidade de 14,4hm<sup>3</sup> para 26,3hm<sup>3</sup> ocasiona um acréscimo positivo de 30% do volume regularizado. Do ponto de vista do investimento, passar a barragem dos atuais 4,7hm<sup>3</sup> para 14,4hm<sup>3</sup> custa cerca de R\$1.330.000,00, enquanto que elevar a obra para 26,3hm<sup>3</sup> custa R\$2.060.000,00.

A PIVOT sugere que se adote a cota de soleira de 98,0m armazenando 26,30hm<sup>3</sup>. Tendo em vista que o custo incremental da construção é relativamente pequeno e o ganho na vazão regularizada é significativo

#### 4.5.1.6 – Estudo da Vazão Amortecida

O estudo da vazão amortecida foi desenvolvido fazendo-se a integração numérica da equação da continuidade, dada por

**Quadro 4.5.5: Custo da Barragem na Cota 94,0m**

ITEM	DESCRIÇÃO	UD	QT	PREÇO	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	Compactação de Aterro em Barragem (material argiloso)	m³	34 398,24	1,17	40 245,94
2	Rip-rap	m³	5 159,74	25,45	131 315,28
3	Rock-fill	m³	1 719,91	25,62	44 064,15
4	Filtro Horizontal	m³	859,96	12,44	10 697,85
5	Filtro Vertical	m³	859,96	10,52	9 046,74
6	Confecção e Lançamento de concreto ciclópico (30% de pedra) - Perfil Creager	m³	1 440,00	144,00	207 360,00
7	Tomada D'água	ud	1,00	47 073,99	47 073,99
	<b>Total</b>				<b>489 803,95</b>

**Quadro 4.5.6: Custo da Barragem na Cota 95,0m**

ITEM	DESCRIÇÃO	UD	QT	PREÇO	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	Compactação de Aterro em Barragem (material argiloso)	m³	52 255,50	1,17	61 138,94
2	Rip-rap	m³	7 838,33	25,45	199 485,37
3	Rock-fill	m³	2 612,78	25,62	66 939,30
4	Filtro Horizontal	m³	1 306,39	12,44	16 251,46
5	Filtro Vertical	m³	1 306,39	10,52	13 743,20
6	Confeção e Lançamento de concreto ciclópico (30% de pedra) - Perfil Creager	m³	2 160,00	144,00	311 040,00
7	Tomada D'água	ud	1,00	71 511,65	71 511,65
	Total				740 109,91

**Quadro 4.5.7: Custo da Barragem na Cota 96,0m**

ITEM	DESCRIÇÃO	UD	QT	PREÇO	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	Compactação de Aterro em Barragem (material argiloso)	m³	73 561,79	1,17	86 067,29
2	Rip-rap	m³	11 034,27	25,45	280 822,13
3	Rock-fill	m³	3 678,09	25,62	94 232,65
4	Filtro Horizontal	m³	1 839,04	12,44	22 877,72
5	Filtro Vertical	m³	1 839,04	10,52	19 346,75
6	Confecção e Lançamento de concreto ciclópico (30% de pedra) - Perfil Creager	m³	2 880,00	144,00	414 720,00
7	Tomada D'água	ud	1,00	100 669,31	100 669,31
	<b>Total</b>				<b>1 018 735,86</b>



**Quadro 4.5.8: Custo da Barragem na Cota 97,0m**

ITEM	DESCRIÇÃO	UD	QT	PREÇO	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	Compactação de Aterro em Barragem (material argiloso)	m³	98 644,11	1,17	115 413,61
2	Rip-rap	m³	14 796,62	25,45	376 573,89
3	Rock-fill	m³	4 932,21	25,62	126 363,10
4	Filtro Horizontal	m³	2 466,10	12,44	30 678,32
5	Filtro Vertical	m³	2 466,10	10,52	25 943,40
6	Confecção e Lançamento de concreto ciclópico (30% de pedra) - Perfil Creager	m³	3 600,00	144,00	518 400,00
7	Tomada D'água	ud	1,00	134 994,46	134 994,46
	<b>Total</b>				<b>1 328 366,79</b>

**Quadro 4.5.9: Custo da Barragem na Cota 98,0m**

ITEM	DESCRIÇÃO	UD	QT	PREÇO	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	Compactação de Aterro em Barragem (material argiloso)	m³	127 797,12	1,17	149 522,63
2	Rip-rap	m³	19 169,57	25,45	487 865,51
3	Rock-fill	m³	6 389,86	25,62	163 708,11
4	Filtro Horizontal	m³	3 194,93	12,44	39 744,90
5	Filtro Vertical	m³	3 194,93	10,52	33 610,64
6	Confecção e Lançamento de concreto ciclópico (30% de pedra) - Perfil Creager	m³	4 320,00	144,00	622 080,00
7	Tomada D'água	ud	1,00	174 890,36	174 890,36
	<b>Total</b>				<b>1 671 422,15</b>

**Quadro 4.5.10: Custo da Barragem na Cota 99,0m**

ITEM	DESCRIÇÃO	UD	QT	PREÇO	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	Compactação de Aterro em Barragem (material argiloso)	m³	161 600,72	1,17	189 072,84
2	Rip-rap	m³	24 240,11	25,45	616 910,75
3	Rock-fill	m³	8 080,04	25,62	207 010,52
4	Filtro Horizontal	m³	4 040,02	12,44	50 257,82
5	Filtro Vertical	m³	4 040,02	10,52	42 500,99
6	Confecção e Lançamento de concreto ciclópico (30% de pedra) - Perfil Creager	m³	5 040,00	144,00	725 760,00
7	Tomada D'água	ud	1,00	221 150,59	221 150,59
	<b>Total</b>				<b>2 052 663,51</b>

**Quadro 4.5.11: Custo da Barragem na Cota 100,0m**

ITEM	DESCRIÇÃO	UD	QT	PREÇO	
				UNITÁRIO	TOTAL
1	Compactação de Aterro em Barragem (material argiloso)	m³	199 889,26	1,17	233 870,43
2	Rip-rap	m³	29 983,39	25,45	763 077,25
3	Rock-fill	m³	9 994,46	25,62	256 058,14
4	Filtro Horizontal	m³	4 997,23	12,44	62 165,56
5	Filtro Vertical	m³	4 997,23	10,52	52 570,88
6	Confecção e Lançamento de concreto ciclópico (30% de pedra) - Perfil Creager	m³	5 760,00	144,00	829 440,00
7	Tomada D'água	ud	1,00	273 548,45	273 548,45
	Total				2 470 730,71

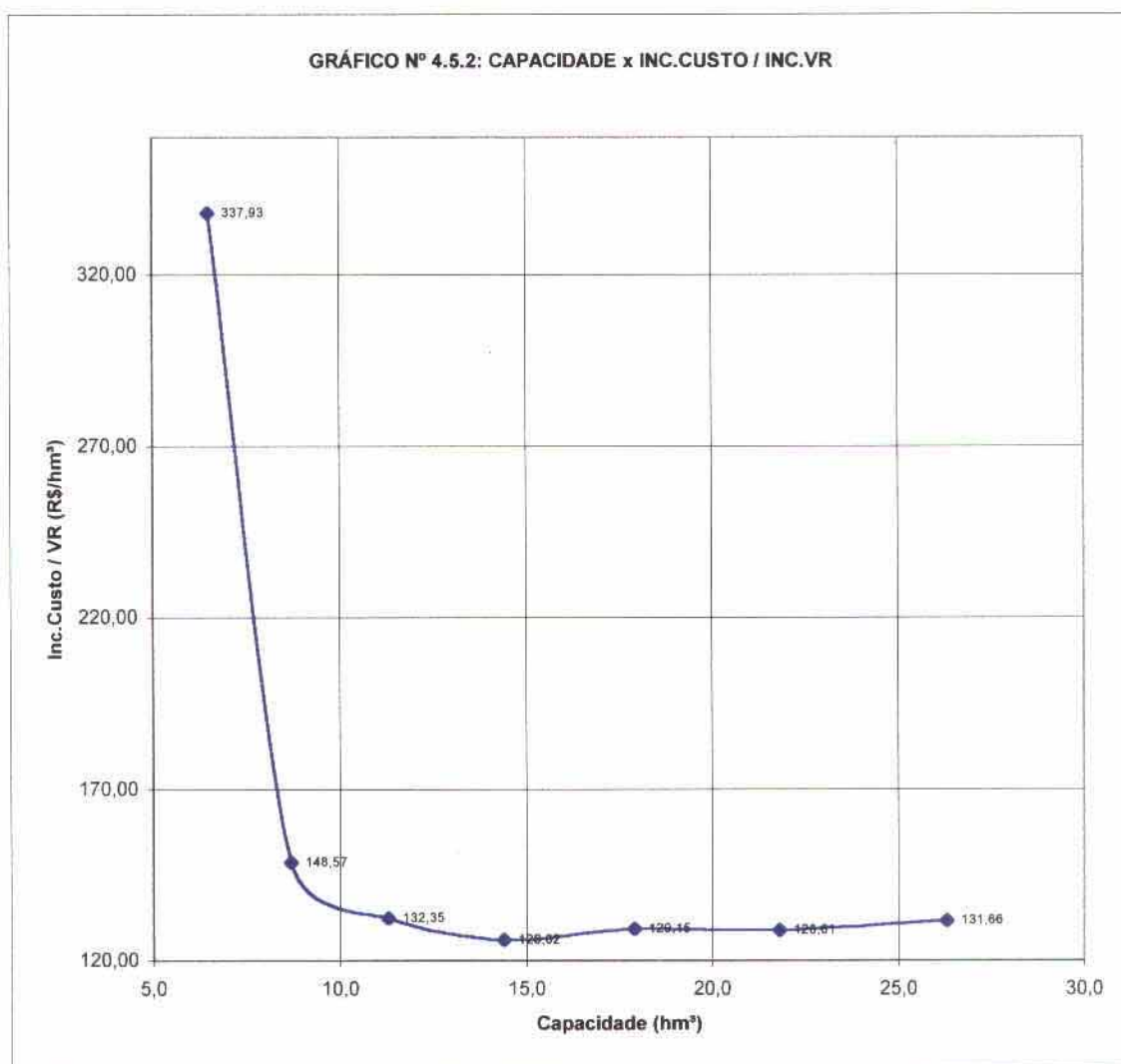
**QUADRO 4.5.12: BALANÇO HÍDRICO DO AÇUDE CHILE**

CÔTA DA SOLEIRA (m)	CAP K hm <sup>3</sup>	EVAP %	EVAP hm <sup>3</sup>	SANG %	SANG hm <sup>3</sup>	REG %	REG hm <sup>3</sup>
90,50	4,70	24,04	1,13	153,40	7,21	24,04	1,13
92,00	6,50	21,69	1,41	102,00	6,63	22,31	1,45
93,00	8,70	19,77	1,72	69,31	6,03	20,11	1,75
94,00	11,30	18,05	2,04	47,70	5,39	18,41	2,08
95,00	14,40	16,46	2,37	32,71	4,71	17,08	2,46
96,00	17,90	15,25	2,73	22,96	4,11	15,14	2,71
97,00	21,80	14,17	3,09	16,19	3,53	13,53	2,95
98,00	26,30	13,08	3,44	11,25	2,96	12,13	3,19

QUADRO Nº 4.5.13

Capacidade (hm <sup>3</sup> )	Custo (R\$ x 1.000,00)	VR 90% (hm <sup>3</sup> )	Δ Custo (R\$ x 1.000,00)	Δ Custo / VR (R\$/hm <sup>3</sup> )
4,7	0,00	1,13	0,00	0,00
6,5	490,00	1,45	490,00	337,93
8,7	750,00	1,75	260,00	148,57
11,3	1.020,00	2,04	270,00	132,35
14,4	1.330,00	2,46	310,00	126,02
17,9	1.680,00	2,71	350,00	129,15
21,8	2.060,00	2,95	380,00	128,81
26,3	2.480,00	3,19	420,00	131,66

GRÁFICO Nº 4.5.2: CAPACIDADE x INC.CUSTO / INC.VR



$$I - O = \frac{dS}{dt}$$

onde

I = vazão afluyente ao reservatório (m<sup>3</sup>/s)

O = vazão efluente ao reservatório (m<sup>3</sup>/s)

$\frac{dS}{dt}$  = Taxa de variação do volume armazenado

O método indicando o armazenamento de uma hidrógrafa propagando através de um reservatório é denominado Método Puls Modificado

A vazão de saída pelo vertedouro é regida por uma equação do tipo

$$O = C \times L \times H^x$$

onde

O = vazão de saída

C = coeficiente de descarga

L = largura do vertedouro.

H = lâmina acima da cota no lago e a cota da soleira.

x = expoente, teoricamente igual a 3/2

Na integração numérica é dado um intervalo de tempo  $\Delta T$  e divide-se o tempo de base em N intervalos de tempo, dado por:

$$N = \frac{t_b}{\Delta t}$$

onde:

N = número de intervalos

$t_b$  = tempo de base da hidrográfa afluyente.

$\Delta t$  = intervalo de tempo

Determina-se a vazão nas extremidades de cada intervalo  $I_N$  e  $I_{N+1}$  e faz a integração numérica da equação:

$$\frac{I_N + I_{N+1}}{2} - \frac{O_N + O_{N+1}}{2} = \frac{S_N + S_{N+1}}{2\Delta t}$$

A integração numérica foi feita em um programa desenvolvido para esta resolução.

No caso da barragem Chile, o vertedouro será um perfil Creager, com 8,0m de altura, encravado em um canal de 120,0m de largura e coeficiente de descarga  $C=2,0\text{m}^{1/2}/\text{s}$

Os resultados da integração são apresentados a seguir. As hidrógrafas da vazão milenar são apresentadas no quadro 4.5.14 e no gráfico 4.5.4. As hidrógrafas da vazão decamilenar são apresentadas no quadro 4.5.15 e no gráfico 4.5.5.

#### 4.5.17 – Cálculo da Cota de Coroamento da Barragem

A lâmina vertente sobre o Creager para a vazão de pico amortecida milenar é:

$$Q_{1000} = 265,90 \text{ m}^3/\text{s}.$$

$$H = \left( \frac{Q}{CL} \right)^{2/3} = \left( \frac{265,90}{2 \times 120} \right)^{2/3} = 1,06 \text{ m}$$

A folga é determinada em função da altura de onda e da velocidade desta, dada por:

$$f = 0,75h + \frac{v^2}{2g}$$

onde:

f = folga (m)

h = altura da onda (m)

v = velocidade da onda (m/s)

aceleração da gravidade, 9,81 m/s<sup>2</sup>

A altura de onda h é dada como uma função do fetch. No caso da barragem Chile

$$F = 0,60 \text{ km}$$

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

onde:

$$h = 0,78 \text{ m}.$$

$$v = 1,5 + 2h \text{ (m/s)}$$

$$v = 3,06 \text{ m/s}$$

$$f = 1,05 \text{ m}$$

A cota de coroamento da barragem será

$$C_c = 98,0 + 1,06 + 1,05 = 100,11 \text{ m}$$

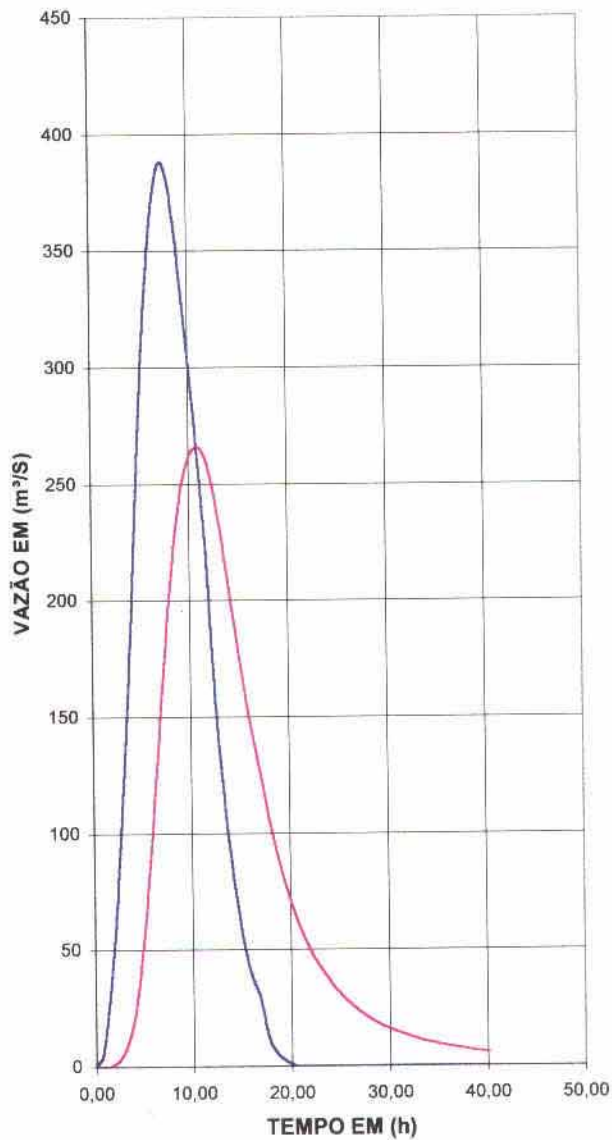
Adotar a cota do coroamento igual a 100,20 m.



QUADRO 4.5.14: HIDROGRAFA DE AMORTECIMENTO MILENAR

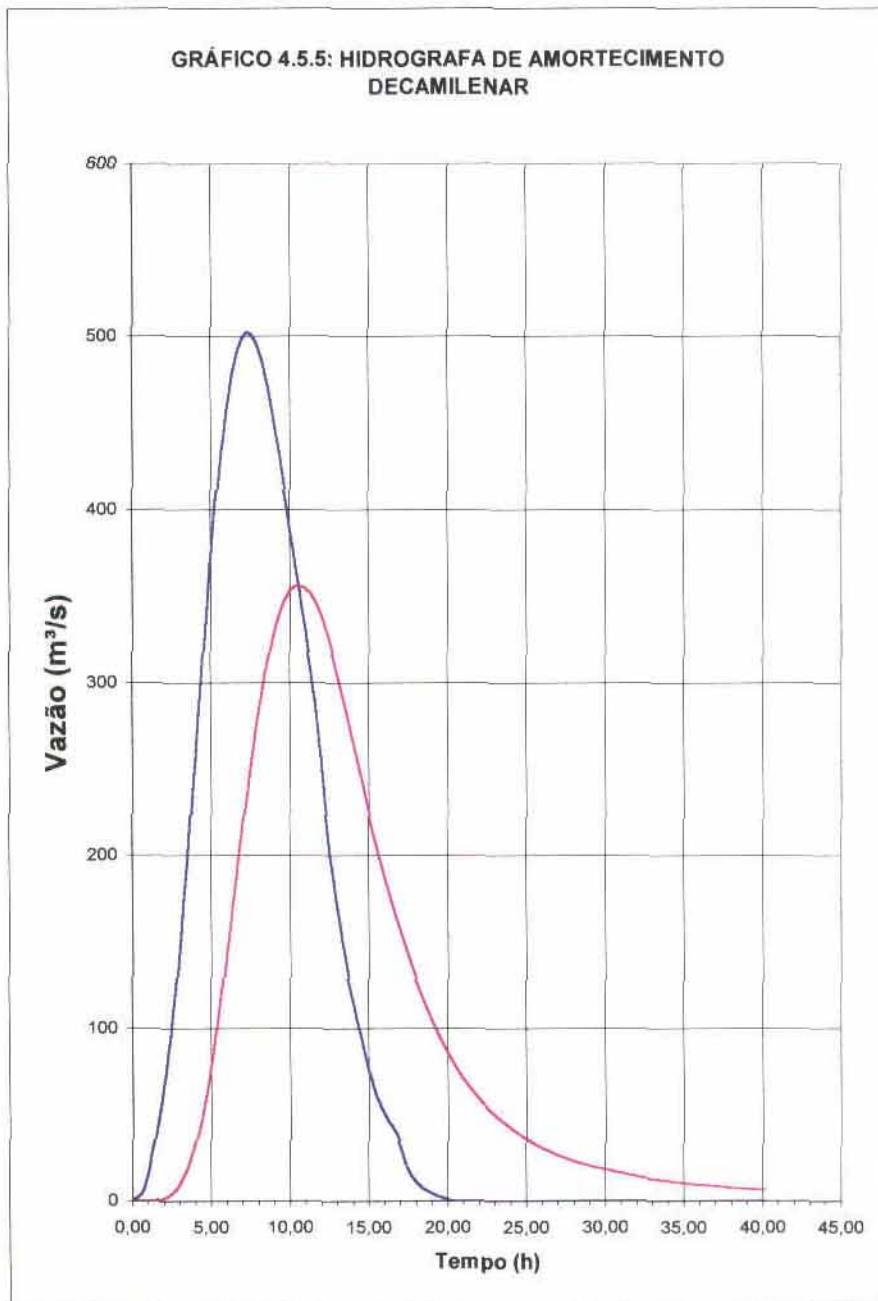
I	TEMPO (h)	Qa (m³/s)	Qs (m³/s)
1	0,00	0	0
2	0,73	5,82	0,02
3	1,46	29,12	0,32
4	2,19	62,12	1,85
5	2,92	108,7	6,16
6	3,65	166,94	15,65
7	4,38	232,94	32,74
8	5,11	298,94	58,9
9	5,84	345,53	93,12
10	6,57	376,58	132,2
11	7,30	388,23	171,72
12	8,03	380,47	207,3
13	8,76	357,17	235,32
14	9,49	328,11	254,16
15	10,22	291,17	264,13
16	10,95	256,23	265,99
17	11,68	217,41	260,79
18	12,41	163,06	248,31
19	13,14	124,23	229,97
20	13,87	93,18	209,01
21	14,60	69,88	187,39
22	15,33	50,47	166,58
23	16,06	38,05	147,22
24	16,79	29,12	129,83
25	17,52	13,98	113,76
26	18,25	6,99	98,94
27	18,98	3,49	86,11
28	19,71	1,55	75,1
29	20,44	0	65,54
30	21,17	0	57,54
31	21,90	0	50,74
32	22,63	0	44,86
33	23,36	0	39,81
34	24,09	0	35,54
35	24,82	0	31,8
36	25,55	0	28,55
37	26,28	0	25,77
38	27,01	0	23,41
39	27,74	0	21,29
40	28,47	0	19,39
41	29,20	0	17,7
42	29,93	0	16,21
43	30,66	0	14,91
44	31,39	0	13,78
45	32,12	0	12,69
46	32,85	0	11,75
47	33,58	0	10,84
48	34,31	0	10,08
49	35,04	0	9,34
50	35,77	0	8,74
51	36,50	0	8,15
52	37,23	0	7,57
53	37,96	0	7,12
54	38,69	0	6,68
55	39,42	0	6,25
56	40,15	0	5,82

GRÁFICO 4.5.4: HIDROGRAFA DE AMORTECIEMNTO MILENAR



QUADRO 4.5.15: HIDROGRAFA DE AMORTECIMENTO DECAMILENAR

I	TEMPO (h)	Qa (m³/s)	Qs (m³/s)
1	0,00	0	0
2	0,73	7,54	0,02
3	1,46	37,69	0,44
4	2,19	80,4	2,6
5	2,92	140,71	8,87
6	3,65	216,09	22,6
7	4,38	301,52	46,95
8	5,11	386,95	84,08
9	5,84	447,25	131,91
10	6,57	487,46	185,42
11	7,30	502,53	238,55
12	8,03	492,48	285,22
13	8,76	462,33	321,01
14	9,49	422,13	344,29
15	10,22	376,9	354,9
16	10,95	331,67	354,9
17	11,68	281,42	345,5
18	12,41	211,06	326,57
19	13,14	160,81	300,21
20	13,87	120,61	270,84
21	14,60	90,46	241,06
22	15,33	65,33	212,45
23	16,06	49,25	186,4
24	16,79	37,69	163,09
25	17,52	18,09	141,74
26	18,25	9,05	122,28
27	18,98	4,52	105,44
28	19,71	2,01	91,01
29	20,44	0	78,8
30	21,17	0	68,6
31	21,90	0	60,01
32	22,63	0	52,9
33	23,36	0	46,72
34	24,09	0	41,4
35	24,82	0	36,88
36	25,55	0	33,09
37	26,28	0	29,8
38	27,01	0	26,8
39	27,74	0	24,24
40	28,47	0	22,09
41	29,20	0	20,17
42	29,93	0	18,46
43	30,66	0	16,95
44	31,39	0	15,49
45	32,12	0	14,2
46	32,85	0	13,1
47	33,58	0	12,15
48	34,31	0	11,23
49	35,04	0	10,46
50	35,77	0	9,71
51	36,50	0	9,1
52	37,23	0	8,5
53	37,96	0	7,92
54	38,69	0	7,46
55	39,42	0	7,01
56	40,15	0	6,57



#### 4 5 1 8 – Verificação da Capacidade do Sangradouro para a Cheia Decamilenar

A lâmina vertente sobre o Creager para a vazão de pico amortecida decamilenar é.

$$Q_{1000}=354.90\text{m}^3/\text{s}$$

$$H = \left( \frac{Q}{CL} \right)^{2.3} = \left( \frac{354,90}{2 \times 120} \right)^{2.3} = 1,30\text{m}$$

A cota no lago será  $98,0\text{m} + 1,30\text{m} + 1.05 = 100,35\text{m}$ .

Logo tem-se  $100,35\text{m} \cong 100,20\text{m}$  OK!!!!

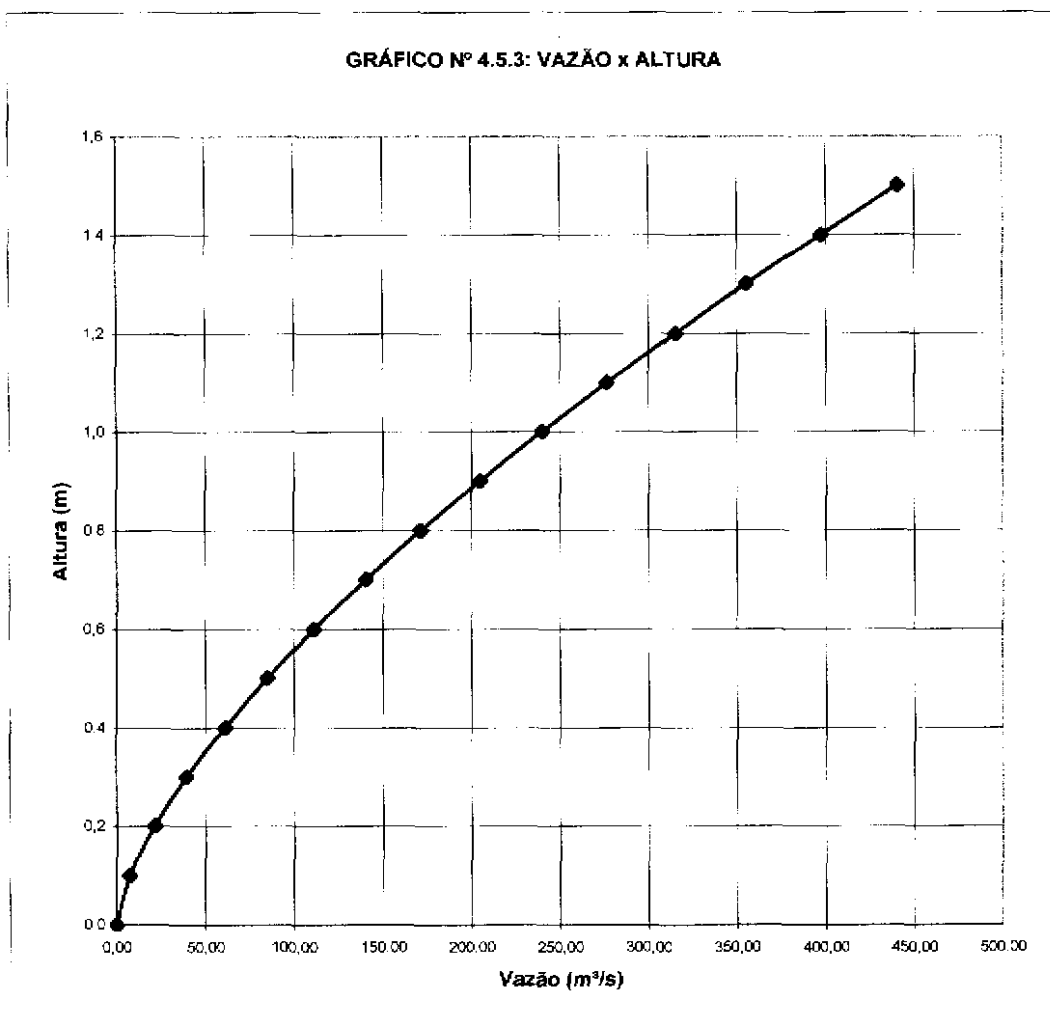
#### 4 5 1 9 – Curva Chave do Vertedouro

A largura do sangradouro do açude Chile é 120,0m, já escavado. Portanto, para a elaboração da curva chave do vertedouro, aplica-se à equação do vertedouro uma variação da lâmina e obtém-se as vazões correspondentes. A plotagem dos pares (h,Q) constitui a curva chave do vertedouro, o qual é apresentado no quadro 4.5.16 e no gráfico 4 5.6, a seguir.

**QUADRO Nº 4.5.16**

Altura (m)	Vazão (m³/s)
0,0	0,00
0,1	7,59
0,2	21,47
0,3	39,44
0,4	60,72
0,5	84,85
0,6	111,54
0,7	140,56
0,8	171,73
0,9	204,92
1,0	240,00
1,1	276,89
1,2	315,49
1,3	355,73
1,4	397,56
1,5	440,91

**GRÁFICO Nº 4.5.3: VAZÃO x ALTURA**



## 4.6 – ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO AÇUDE CHILE NA REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS

### 4.6.1 – Considerações Iniciais

A bacia hidrográfica do açude Chile na realidade é uma sub-bacia do açude Santo Antônio de Russas, visto que o maciço do açude Chile barra o Rio Palhano em um sítio localizado cerca de 50 km a montante do açude Santo Antônio de Russas que também barra o Rio Palhano

A ampliação da barragem Chile com área de drenagem de 140,45 km<sup>2</sup>, pode significar interferência negativa na regularização do açude Santo Antônio de Russas posto que sua bacia hidrográfica representa cerca de 22% (vinte e dois por cento) da área da bacia do Santo Antônio de Russas que é de 635 km<sup>2</sup>

O presente capítulo visa estudar qual o grau de interferência do açude Chile na regularização do açude Santo Antônio de Russas

### 4.6.2 - Regularização do Açude Santo Antônio de Russas

Para os estudo do volume regularizado do açude Santo Antônio de Russas foi adotado a mesma metodologia descrita no item 6.0

Serão consideradas duas hipóteses neste estudo:

- a) Regularização do Açude Santo Antônio de Russas **sem** o açude Chile; e
- b) Regularização do Açude Santo Antônio de Russas, **considerando a ampliação** do açude Chile a partir da cota 90,00 que é a cota de sangria atual e variando a altura até a cota 97,00 m, limite máximo permitido pela topografia do boqueirão

#### a) Açude Santo Antônio de Russas sem Ampliação do Açude Chile

Para os cálculos serão utilizados os seguintes dados:

- *Lâmina Evaporada*

Como açude Santo Antônio de Russas encontra-se na mesma região do açude Chile, será usado o valor da lâmina evaporada da estação meteorológica de Morada Nova, ou seja,  $E_L = 1260,80$  mm

- *Lâmina Média Escocada na Bacia Hidrográfica*

Este dado foi obtido diretamente do atlas do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, que para a bacia de Drenagem do açude Santo Antônio de Russas é de 80,88 mm

- *Área da Bacia Hidrográfica*

Obtida através das cartas da SUDENE na escala 1:100.000 com valor confirmado no PERH, a área da bacia hidrográfica do açude Santo Antônio de Russas é 635 km<sup>2</sup>.

- *Curva Cota x Área x Volume*

A curva x área x volume foi obtida do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH e é mostrado no Quadro 4.6 1.

**QUADRO 4.6.1 – CURVA COTA X ÁREA X VOLUME**  
**AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS**

<b>COTA</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>VOLUME(Hm3)</b>
87,00	0,00	0,00
88,00	1,00	0,40
89,00	40,00	0,80
90,00	85,00	1,80
91,00	150,00	2,80
92,00	240,00	4,90
93,00	350,00	7,80
94,00	460,00	12,40
95,00	580,00	17,80
96,00	740,00	23,60
97,00	860,00	30,40

- *Fator de Forma do Reservatório (α)*

**QUADRO 4.6.2 – CÁLCULO DO ALFA**

<b>COTA</b>	<b>ALTURA (h)</b>	<b>ALTURA (h<sup>3</sup>)</b>	<b>VOLUME ( m3 )</b>
87,00	0,00	0,00	-
88,00	1,00	1,00	400 000
89,00	2,00	8,00	800 000
90,00	3,00	27,00	1 800 000
91,00	4,00	64,00	2 800 000
92,00	5,00	125,00	4 900 000
93,00	6,00	216,00	7 800 000
94,00	7,00	343,00	12 400 000
95,00	8,00	512,00	17.800.000
96,00	9,00	729,00	23.600.000
97,00	10,00	1 000,00	30.400 000
<b>SOMA ==&gt;</b>		<b>3 025</b>	<b>102 700 00</b>
<b>α</b>	<b>33.950</b>		

- *Deflúvio Médio Anual ( $\mu$ )*

O deflúvio médio anual ( $\mu$ ) foi calculado multiplicando-se a lâmina média escoada na bacia hidrográfica do açude Santo Antônio de Russas pela área da mesma.

$$\mu = 635\,000\,000\text{ m}^2 \times 0,08088\text{ m} = 51.358.800\text{ m}^3$$

*Regularização do Açude Santo Antônio de Russas*

**QUADRO 4.6.3 - AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS SEM O CHILE**

**REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTÔNIO DE RUSSAS NÃO CONSIDERANDO O AÇUDE CHILE**

DEFLÚVIO MÉDIO ANUAL DO AÇUDE SANTO ANT. DE RUSSAS = 51,36 hm<sup>3</sup>

<b>Q<sub>af1</sub></b> <b>(hm<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>EVAP.</b> <b>(%)</b>	<b>EVAP.</b> <b>(hm<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>SANG.</b> <b>(%)</b>	<b>SANG.</b> <b>(hm<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>REG.</b> <b>(%)</b>	<b>REG.</b> <b>(hm<sup>3</sup>/ano)</b>
52,03	11	5,81	70	36,36	19	9,86

b) Açude Santo Antônio de Russas com Ampliação do Açude Chile

- *Área da Bacia Hidrográfica*

Neste item, exclui-se a área da bacia hidrográfica do açude Chile, visto que o objetivo é saber o comportamento do açude Santo Antônio de Russas sem o Chile.

$$A = 635\text{ km}^2 - 140,45\text{ km}^2 = 494,55\text{ km}^2$$

- *Deflúvio Médio Anual*

No cálculo do volume médio anual, considerou-se o volume sangrado do açude Chile mais o deflúvio médio, que foi calculado multiplicando-se a área (494,55 km<sup>2</sup>) pela lâmina média escoada (80,88 mm)

000079

- Volume Regularizado

Com os valores acima, calcularam-se os volumes evaporados, sangrados e regularizados para um coeficiente de variação  $C_v = 1,20$ . Os resultados encontram-se no Quadro 7.4.

Os impactos na regularização do sistema (Chile + Santo Antônio de Russas) com a ampliação do açude Chile podem ser visualizados no Quadro 4.6.5, bem como nas Figuras 4.6.1, 4.6.2 e 4.6.3

Quadro 4.6.5- Impacto na regularização do sistema (Chile + S.A. de Russas)

Capacidade do Aç Chile ( $hm^3$ )	Q reg ( $hm^3/ano$ )	$\Delta Q$ ( $hm^3/ano$ )
9,29	10,86	-
13,08	11,28	0,42
18,04	11,73	0,87
24,35	11,98	1,12
32,15	12,15	1,29
41,80	12,08	1,22
53,70	11,99	1,13
68,09	11,79	0,93



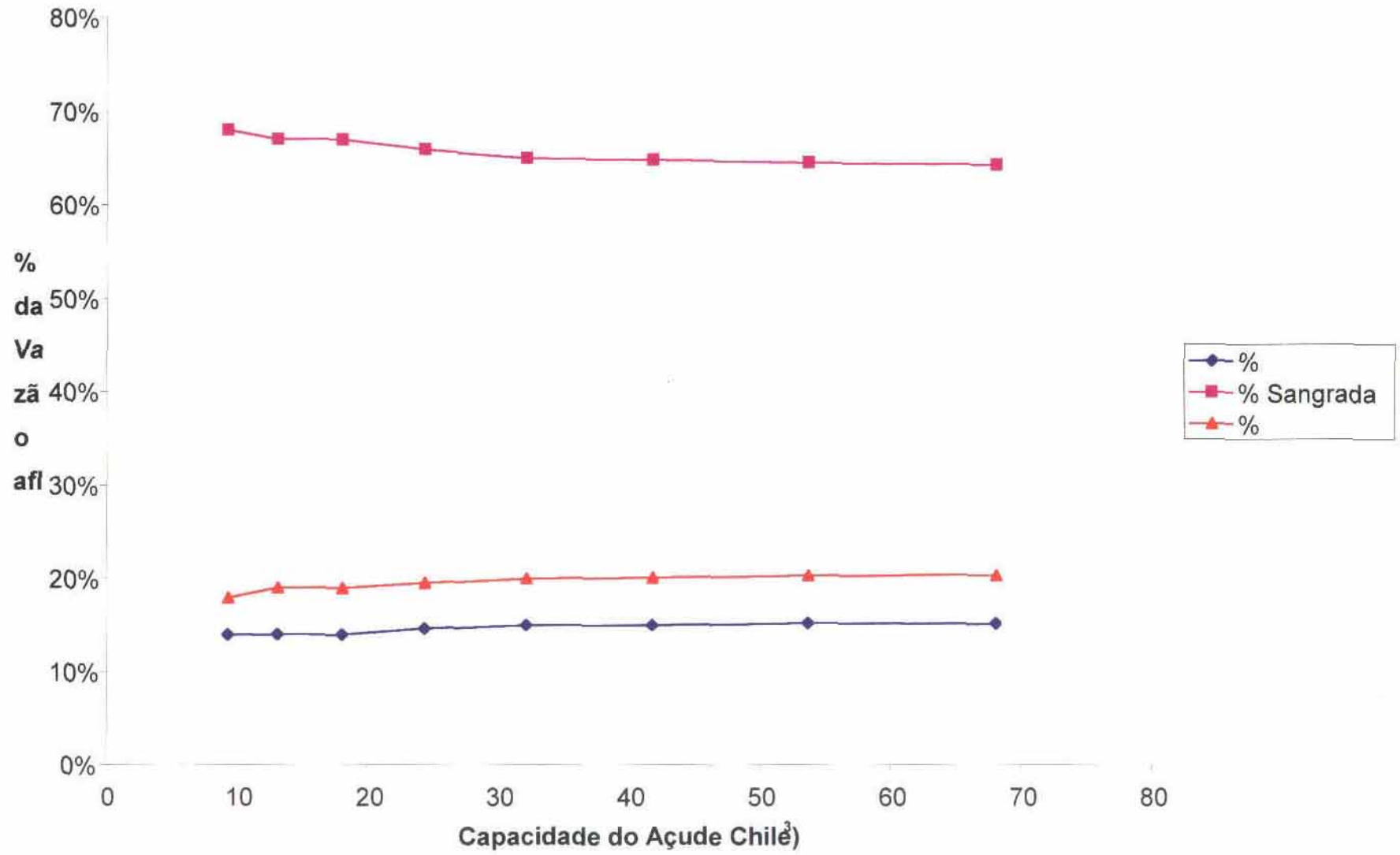
**QUADRO 4.6.4 - AÇUDE SANTO ANTONIO DE RUSSAS COM O CHILE**

REGULARIZAÇÃO DO AÇUDE SANTO ANTONIO DE RUSSAS CONSIDERANDO O AÇUDE CHILE

DEFLUVIO MÉDIO ANUAL DO AÇUDE SANTO ANT DE RUSSAS = 40,00 hm<sup>3</sup>

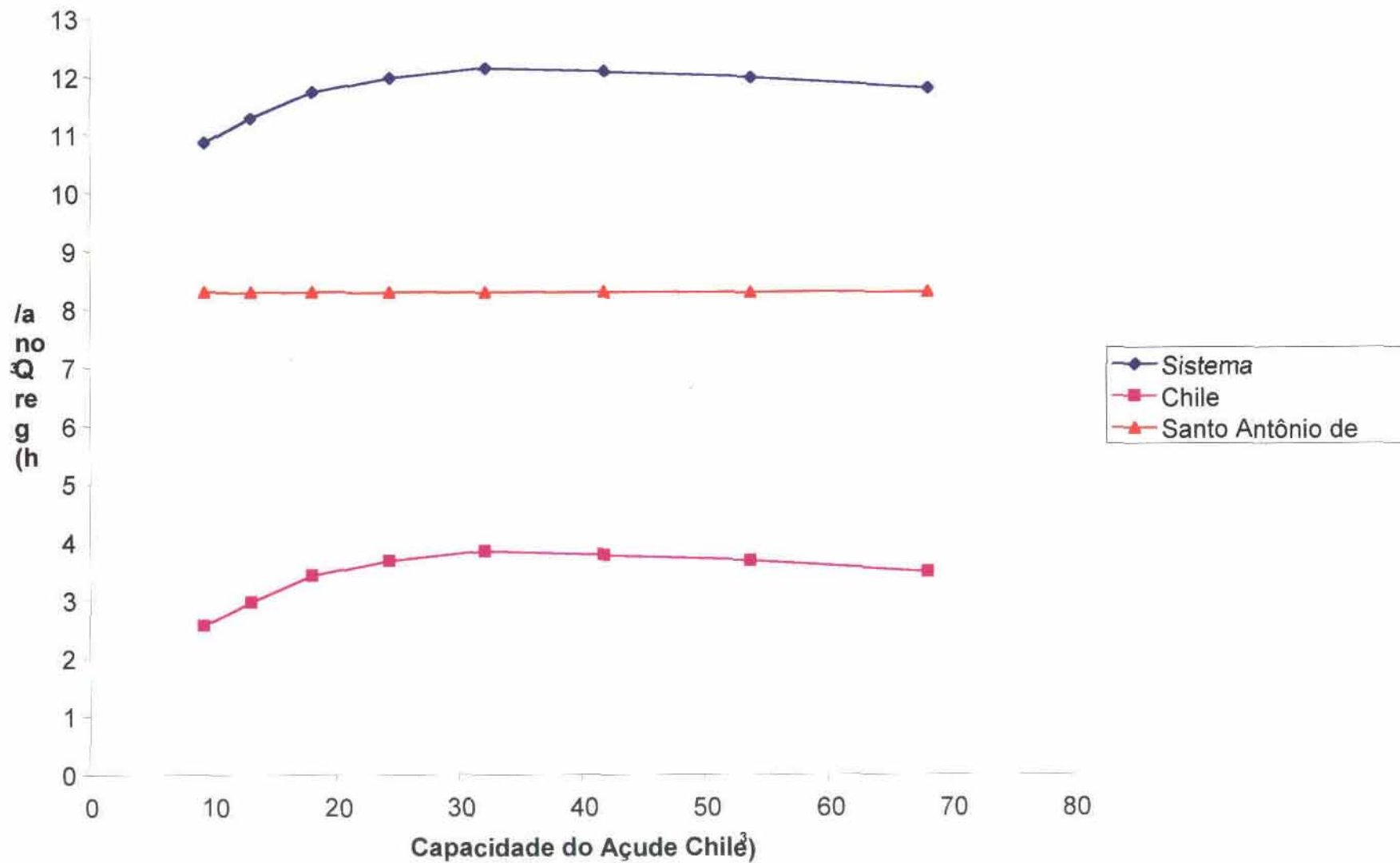
AÇUDE CHILE		AÇUDE SANTO ANTONIO DE RUSSAS						
COTA	CAP.	Qafl	EVAP.	EVAP.	SANG.	SANG.	REG.	REG.
(m)	( Hm <sup>3</sup> )	(Hm <sup>3</sup> /ano)	( %)	(Hm <sup>3</sup> /ano)	( %)	(Hm <sup>3</sup> /ano)	( %)	(Hm <sup>3</sup> /ano)
90,00	9,28	45,36	14	6,20	68	30,86	18	8,30
91,00	13,08	44,39	14	6,20	67	29,89	19	8,30
92,00	18,04	43,38	14	6,20	67	28,88	19	8,30
93,00	24,35	42,51	15	6,20	66	28,01	20	8,30
94,00	32,15	41,77	15	6,20	65	27,27	20	8,30
95,00	41,80	41,23	15	6,20	65	26,73	20	8,30
96,00	53,70	40,85	15	6,20	65	26,35	20	8,30
97,00	68,09	40,65	15	6,20	65	26,15	20	8,30

Figura 4.6.1- Regularização do Açude S.A. de



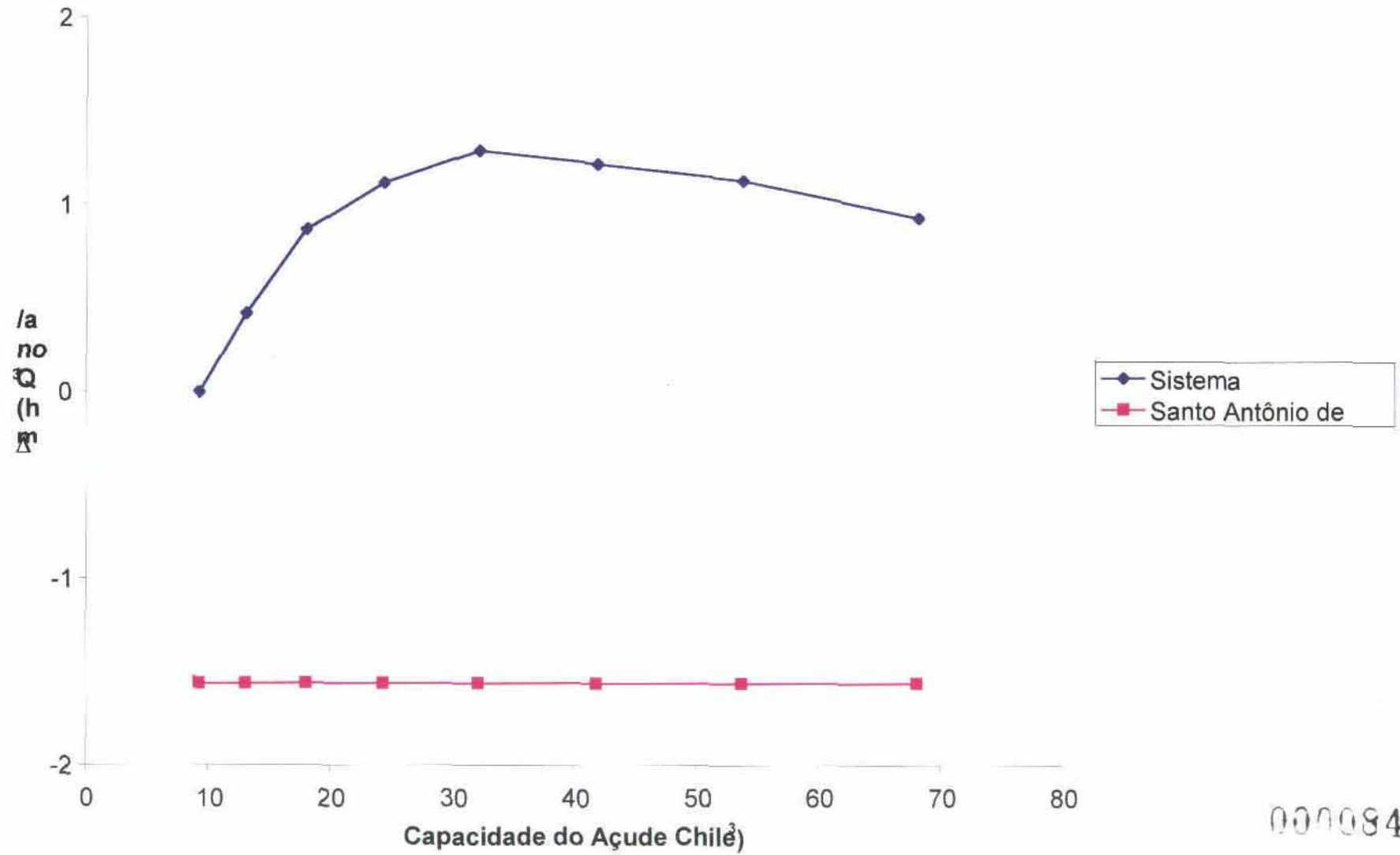
000082

Figura 4.6.2 - Comparação das regularizações de



000083

Figura 4.6.3 - Impacto na regularização de



000084

#### 4.7 - CONCLUSÕES

A ampliação do Açude Chile é indiferente à regularização do Açude Santo Antônio de Russas, já a simulação demonstra a vazão regularizável no açude de jusante permanece constante em  $8,30 \text{ hm}^3/\text{ano}$ . Do ponto de vista do sistema hídrico Chile + Santo Antônio de Russas, este apresenta um impacto positivo nas regularizações, já que a soma das duas regularizações é superior à regularização do Santo Antônio de Russas antes da construção do Açude Chile.

Estudos econômicos posteriores auxiliarão na tomada de decisão quanto ao acréscimo do volume de acumulação do açude Chile.

**5.0 – PROJETO DA BARRAGEM**

## **5.0 – PROJETO DA BARRAGEM**

### **5.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS**

A ampliação da Barragem Chile surgiu como uma forma de gerar uma vazão regularizada satisfatória, capaz de distribuir melhor espacialmente e temporalmente as águas que escoam na parte da Bacia do Rio Palhano e que poderão ser acumulada no Açude Chile.

Nos estudos hidrológicos obteve-se a resposta de que o tamanho do Açude Chile, não gera um impacto negativo na operação do Açude Santo Antônio, a jusante da Barragem Chile, que é a barragem de maior expressão existente na bacia do Rio Palhano

De maneira que o Governo Estadual do Ceará através da Secretaria Estadual de Recursos Hídricos – SRH implementou uma ação visando o melhor aproveitamento do Açude Chile, através da sua ampliação, para que este, com maior volume acumulado, possa distribuir espacialmente e temporalmente de forma mais uniforme, com uma garantia satisfatória, uma vazão que permita à população circunvizinha da área da barragem obter melhor qualidade de vida, pela geração de emprego e renda, através do abastecimento humano, animal, piscicultura e irrigação

### **5.2 – BARRAGEM EXISTENTE**

A barragem existente tem extensão pelo coroamento de 300,00 metros. A altura máxima é de 13,0 metros e acumula na cota do vertedouro 4,5hm<sup>3</sup> A cota do coroamento é 93,0 metros, o sangradouro é um canal escavado em rocha, com 120,0 metros de largura, na cota 91,0 metros (soleira)

O maciço do barramento é do tipo homogêneo de solo, com taludes de montante e jusante na inclinação de 1:2,0 (V:H). Não existe nem proteção de montante (rip-rap), nem dreno de pé (rock fill) A tomada d'água é feita numa galeria de diâmetro de 250mm, cujo eixo está na cota 84,00m A tomada d'água está construída na ombreira direita Seu controle é feito por um registro de gaveta, situado na extremidade de jusante A tubulação da galeria é em F<sup>o</sup>F<sup>o</sup>

### **5.3 – DESENHOS EXECUTIVOS**

O projeto de ampliação da Barragem Chile são detalhados nos seguintes desenhos:

- **Bacia Hidráulica**

DESENHO N°	DESCRIÇÃO
BH-01/05	Articulação 01/05
BH-02/05	Articulação 02/05
BH-03/05	Articulação 03/05
BH-04/05	Articulação 04/05
BH-05/05	Articulação 05/05

- **Projeto Executivo**

DESENHO N°	DESCRIÇÃO
01	Planta e Perfil do Boqueirão - Topografia
02	Planta e Perfil do Boqueirão – Geotecnia
03	Localização da Jazida
04	Planta e Perfil da Barragem
05	Seção Tipo 01 e 02
06 a 12	Seções Transversais
13	Detalhe da Barragem
14	Injeção de Cimento
15 e 16	Tomada d'Água
17	Vertedouro

## **5.4 – DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO**

### **5.4.1 – Tipo de Maciço**

O Vale do Rio Palhano no local da barragem é formado de pequena cobertura de solo assente em cima do solo residual de gnaiss, como indicou as sondagens a pá e picareta realizada pelo pé do talude da barragem existente nas seguintes estacas:



<b>ESTACA</b>	<b>SPP</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>
0 + 040	SPP-01	OD
0 + 080	SPP-02	OD
0 + 460	SPP-03	OE
0 + 500	SPP-04	OE
0 + 780	SPP-05	OE
0 + 820	SPP-06	OE
0 + 860	SPP-07	OE
0 + 900	SPP-08	OE
0 + 960	SPP-09	OE
1 + 000	SPP-10	OE
1 + 0,40	SPP-11	OE

As sondagens mistas, iniciadas a percussão e prosseguidas com rotativa, foram executadas nas seguintes estacas:

<b>ESTACA</b>	<b>SM</b>	<b>LOCALIZAÇÃO</b>
0 + 220	01	Vale
0 + 300	02	Vale
0 + 360	03	Vale

Diante desse cenário favorável quanto a fundação da obra, fez-se a opção de por uma barragem homogênea pelos seguintes motivos:

- Características geológica-geotécnica da fundação;
- A barragem existente é, também, um maciço homogêneo;
- Não existe praticamente desmonte de rocha;
- Existe material de boa qualidade a pequena distância;  $DMT \leq 3,0\text{km}$ .

## 5.4.2 – Fundação

Conforme a descrição do perfil geotécnico ao longo do eixo barrável, pode-se concluir que a barragem existente está fundada sobre o solo residual de gnaíse com cut-off, interrompendo a camada aluvionar de cerca de 6,13 metros detectado na sondagem mista SM-2. Portanto, a fundação do maciço de ampliação da barragem será assente nas ombreiras sobre o solo residual de gnaíse e no leito do rio sobre a areia fina compacta com SPT > 10 golpes. Convém ressaltar que o cut-off da barragem ampliada será o existente na barragem atual

Quanto a estanqueidade do maciço rochoso da fundação, verificou-se que a rocha de fundação apresentou nos ensaios de perda d'água do tipo "LUGEON" permeabilidade menor que  $2,0 \times 10^{-4}$  cm/s. Este valor indica que o meio rochoso é fissurado medianamente permeável, sendo de bom agrado prever-se a redução desta permeabilidade de pelo menos vinte vezes, ou seja, fazer com que o coeficiente de permeabilidade da fundação  $K_f \leq 1,0 \times 10^{-5}$  cm/s

Para redução desta permeabilidade, previu-se a execução de uma cortina de injeção limitada onde a barragem tem altura superior a 6,0 metros com profundidade variando de 6,0 a 12,0 metros dentro da rocha sã

A cortina é composta de:

- **Furos exploratórios**, executados com sonda rotativa diâmetro  $\varnothing = NX$ , espaçados de 48,0m, com retirada de amostras e ensaios de perda d'água em segmentos ascendentes de 3,0 metros. Os ensaios de perda d'água serão realizados em cinco estágios.
- **Furos primários**, executados com equipamento rotopercussor com diâmetro de  $\varnothing = 3''$ , espaçados a cada 12,0 metros.
- **Furos secundários**, eventuais, espaçados a cada 12,0 metros e defasados dos furos primários de 6,0 metros. Esses furos serão executados nas vizinhanças dos furos primários que apresentaram tomada de calda excessiva.
- **Furos terciários**, eventuais, espaçados de 6,0 em 6,0 metros e defasados de 3,0 metros dos furos secundários, serão executados nas vizinhanças dos furos secundários que tenha apresentado tomada de calda excessiva

## 5.4.3 – Descrição da Seção Tipo

A seção tipo da barragem ampliada engloba a barragem existente e apresenta as seguintes características.

▪ **Crista**

A crista tem 6,0 metros de largura com o eixo na cota 100,20 metros apresenta um caimento para montante e receberá uma camada final com 20cm de espessura de cascalho argiloso compactado. Nos limites dos bordos serão colocados meio-fio moldado in situ com aberturas para montante e jusante.

▪ **Talude de Montante**

O talude de montante iniciará no bordo de jusante do coroamento da barragem existente com inclinação de 1V:3,5H em toda sua extensão. A partir da cota 93,0 metros, coroamento da cota existente o talude será protegido por uma camada de blocos de rocha sã com diâmetro médio de 0,30m assente sobre uma camada de transição com 0,40m de espessura formada por 0,20m de areia grossa e 0,20m de brita.

O enrocamento a ser utilizado tem as seguintes características:

$$P_{50} = 0,05 \text{ tf}$$

$$D_{50} = 0,30\text{m}$$

$$D_{\text{min}} = 0,18\text{m}$$

$$D_{\text{max}} = 0,47\text{m}$$

A camada de transição tem a seguinte granulometria:

<b>AREIA</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA</b>
2"	100
1"	100
3/8"	98 - 76
Nº 4	12 - 48
Nº 10	0 - 28
Nº 40	-
Nº 200	-

BRITA	
PENEIRA	FAIXA
> 4"	100
2"	64 – 90
1"	48 – 78
3/8"	28 – 64
Nº 4	12 – 50
Nº 10	0 – 36
Nº 40	-

▪ **Talude de Jusante**

O talude de jusante tem inclinação de 1V:2,5H em toda sua extensão na cota 90,20m tem uma berma com 2,0 metros de largura. A proteção do talude de jusante é feita com uma camada de 0,30m de espessura de material britado com a seguinte granulometria:

BRITA	
PENEIRA	FAIXA
> 480	100
400	42 – 100
300	2 – 74
200	0 – 22
100	-

▪ **Filtro Vertical**

Está previsto a execução de um filtro vertical com 1,0 metro de espessura executado com areia grossa com topo na cota 99,23m e se estendendo entre as estacas 0+080 a 0+440 e estacas 0+560 e 0+620.

▪ **Tapete Horizontal**

Será executado entre as estacas 0+080 a 0+440 e estacas 0+560 a 0+620 um tapete horizontal com 0,90 metro de espessura.

▪ **Dreno de Pé**

Será executado um dreno de pé do talude de jusante consistindo num enrocamento de pedra com seção trapezoidal com 2,0m de largura na crista e 2,0 metros de altura em toda sua extensão, com taludes de 1V:1H. Entre as interfaces da base do terreno natural e enrocamento e maciço da barragem e enrocamento serão colocadas camadas de transição com 0,30 metros de espessura sendo 0,15m de brita e 0,15m de areia grossa.

A granulometria desses materiais são apresentados a seguir:

<b>AREIA GROSSA</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA</b>
2"	100
1"	100
3/8"	98 – 76
Nº 4	12 – 48
Nº 10	0 – 28
Nº 40	0 – 20
Nº 200	0 – 10

<b>BRITA</b>	
<b>PENEIRA</b>	<b>FAIXA</b>
> 4"	100
2"	64 – 90
1"	48 – 78
3/8"	28 – 74
Nº 4	12 – 50
Nº 10	0 – 36
Nº 40	-

## 5.4.4 – Análise da Estabilidade

### 5 4 4 1 – Considerações Gerais

A geometria da barragem do Chile foi avaliada, desigualmente, recorrendo-se a análise de estabilidade estática e sísmica descritas a seguir

A análise da estabilidade estática foi realizada recorrendo-se ao método de equilíbrio limite, proposto por Bishop implementado automaticamente através do programa de cálculo SLOPE/W

Os cálculos da estabilidade foram realizados sobre a seção mais condicionante no que concerne a estabilidade da barragem, ou seja, a seção de maior altura, tendo sido analisado as seguintes situações

- a) Final de Construção – taludes de montante e jusante,
- b) A Longo Prazo – talude de jusante,
- c) Rebaixamento Rápido – talude de montante

A análise da estabilidade sísmica foi efetuado através de um método pseudo-estático recorrendo-se ao Método de Bishop Simplificado.

No que diz respeito à caracterização da ação sísmica, foi adotado, para a situação de regime permanente, um coeficiente sísmico de 0,1. Para as situações de final de construção e rebaixamento rápido o valor do coeficiente sísmico foi reduzido para 0,05, tendo em conta a menor duração destas fases durante o período de vida da obra e como tal, menor será a probabilidade de ocorrência de um evento sísmico com aceleração superior

Quanto a obtenção das pressões neutras adotou-se os seguintes procedimentos

#### a) Adoção do Coeficiente $R_u$

Para a situação de final de construção adotou-se o coeficiente  $R_u$ . Este coeficiente é definido como a relação entre a pressão intersticial da água num determinado ponto com a tensão vertical nesse ponto através da expressão  $R_u = U/\sigma_1$ . Esse coeficiente é função do tipo do material. Para materiais de elevada permeabilidade nos quais a dissipação das pressões intersticiais é quase instantânea, o coeficiente toma valores próximo de zero. No limite, o coeficiente  $R_u$  pode atingir 0,50 caso se esteja na presença de materiais saturados de baixa permeabilidade

### b) Definição da Linha Piezométrica

Para os casos de regime permanente e rebaixamento rápido, as pressões neutras foram obtidas a partir do traçado da linha piezométrica cujos pontos determinou-se associando a linha freática à parábola de Kozeny teórica fazendo as correções de contorno.

A anisotropia do solo foi contemplada considerando uma relação igual a 9 entre os coeficientes de permeabilidade horizontal/vertical.

### c) Parâmetros de Resistência dos Materiais

Para análise da estabilidade foi necessário estimar os parâmetros de resistência dos materiais componentes da seção tipo. Os materiais do maciço argiloso foram ensaiados para obtenção de suas características eles foram enquadrados na classificação USC como solos “CL”, ou seja, argilas de baixa plasticidade e os seus parâmetros foram extraídos das recomendações do “Bureau of Reclamation” os demais materiais tais como areias, britas e enrocamentos tiveram os parâmetros avaliados da literatura e de experiência do projetista.

Os parâmetros dos materiais são mostrados no quadro a seguir:

	<b>MATERIAIS</b>	<b>PESO ESPECÍFICO kN/m<sup>3</sup></b>	<b>COESÃO EFETIVA (Kpa)</b>	<b>ÂNGGULO DE ATRITO (°)</b>	<b>R<sub>c</sub></b>
<b>Barragem</b>	Corpo da Barragem	20	70	25	0,1
	Enrocamento de Proteção de Montante	19	-	45	-
	Brita da Transição	20	-	40	-
	Areia da Transição	17	-	35	-
	Enrocamento de Jusante	19	-	45	-
<b>Fundação</b>	Camada de Aluvião	18	-	28	-

#### 5.4.4.2 – Resultados Obtidos

##### a) Análise da Estabilidade Estática

Os resultados da análise da estabilidade estática são mostrados no quadro a seguir:

FASES DA VERIFICAÇÃO	FATORES DE SEGURANÇA		
	SUPERFÍCIES DE DESLIZAMENTO		
	Superficiais	Intermediárias	Profundas
Final de Construção Talude de Montante	6,39	4,14	2,93
Final de Construção Talude de Jusante	4,54	3,05	2,40
Regime Permanente Talude de Jusante	4,57	3,87	2,21
Rebaixamento Rápido Talude de Montante	3,21	3,25	1,87

#### b) Análise Sísmica

Os cálculos efetuados para simular um abalo sísmico foram feitos considerando o corpo da barragem como rígido, sendo que a caracterização da ação sísmica se dá através do valor da aceleração máxima esperada na fundação. Esta é considerada constante ao longo do perfil da barragem. Este procedimento é adequado tendo em vista a pequena sismicidade da região. Os valores dos fatores de segurança obtidos são mostrados no quadro a seguir:

FASES DA VERIFICAÇÃO	FATORES DE SEGURANÇA		
	SUPERFÍCIES DE DESLIZAMENTO		
	Superficiais	Intermediárias	Profundas
Final de Construção Talude de Montante	4,38	2,92	2,14
Final de Construção Talude de Jusante	3,32	3,32	1,83
Regime Permanente Talude de Jusante	3,87	3,28	1,91
Rebaixamento Rápido Talude de Montante	3,05	2,69	1,62

#### 5.4.5 – Estudos de Percolação da Barragem

Os estudos de percolação realizados tiveram como objetivo principal a avaliação dos valores de vazões percoladas pelo corpo da barragem e pela fundação.



A permeabilidade do maciço foi considerada igual a  $K_M = 1,0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$  e para a fundação considerou-se uma permeabilidade 10 vezes maior, ou seja,  $K_f = 1,0 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ . Considerou-se, ainda, uma camada de 20,0 metros abaixo do cutoff com essa permeabilidade sobre o substrato impermeável.

Para obtenção das vazões lançou-se mão do traçado da rede de fluxo admitindo que a carga total será dissipada entre a entrada e a saída.

Obteve-se as seguintes vazões.

$$Q_{\text{maciço}} = 2,0 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{sxm}$$

$$Q_{\text{fundação}} = 2,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sxm}$$

Com esses elementos obteve-se o dimensionamento da drenagem interna da barragem.

#### 5.4.6 – Análise dos Recalques

Para avaliação dos recalques do maciço considerou-se apenas as deformações elásticas do maciço e a fundação como elemento rígido. Para tanto o maciço foi dividido em lamelas de 2,0 metros de espessura e calculado os recalques de cada lamela considerando a tensão média atuando neste. Aplicou-se a expressão:

$$S = \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_m}{E} \Delta H_i$$

**6.0 – PROJETO DO SANGRADOURO**

## 6.0 – PROJETO DO SANGRADOURO

O vertedouro será implantado entre as estacas 0+635,77 e 0+755,77 onde já existe um canal escavado em rocha com 120,00m de largura e cota média de 89,00m.

O vertedouro será erguido nesse canal escavado em rocha e será um muro em perfil “CREAGER” com vista na cota 98,00 metros cujo dimensionamento é mostrado na Memória de Cálculo

Compõem-se, ainda, o sangradouro dois muros laterais que se estendem de montante a jusante numa extensão de 46,00 metros cada muro

O dimensionamento hidráulico foi feito para a cheia de 1000 anos e verificado para a tormenta de 10000 anos.

No dimensionamento da forma do perfil adotou-se as recomendações do “Bureau of Reclamation”.

No cálculo da estabilidade do muro considerou-se a situação de barragem cheia na cota 98,00 metros e saturação da fundação do muro sem fluxo, com diagrama de tensões com distribuição triangular

O canal de jusante do muro está escavado em rocha, de boa qualidade, sendo portanto desnecessário o revestimento deste

**7.0 – PROJETO DA TOMADA D'ÁGUA**

09/100

## 7.0 – PROJETO DA TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água existente é constituída de uma tubulação de ferro fundido de diâmetro de  $\varnothing = 250\text{mm}$  localizado na estaca 0+220 com o eixo do tubo na cota

Com a ampliação da barragem essa tomada d'água será, também, ampliada com a tubulação sendo envelopada de concreto e colocado dois registros de gaveta para operação da tomada d'água. Será, também, previsto uma caixa de jusante com a finalidade de dissipar a energia e medir a vazão. A caixa será de concreto armado

**PIVOT**

**ANEXO**

000102

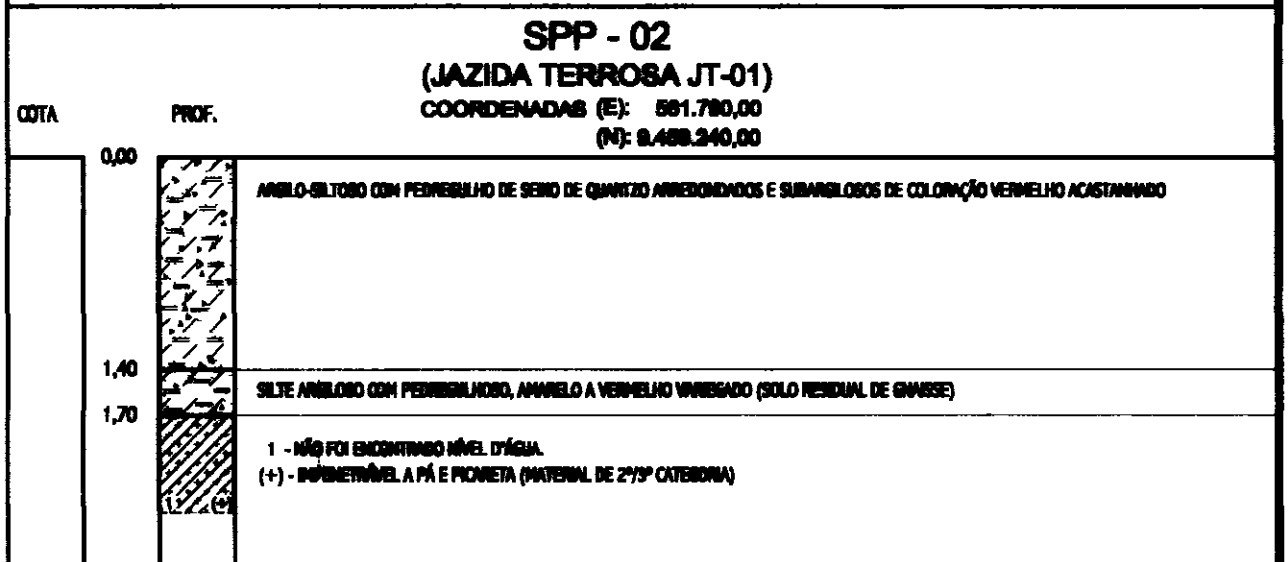
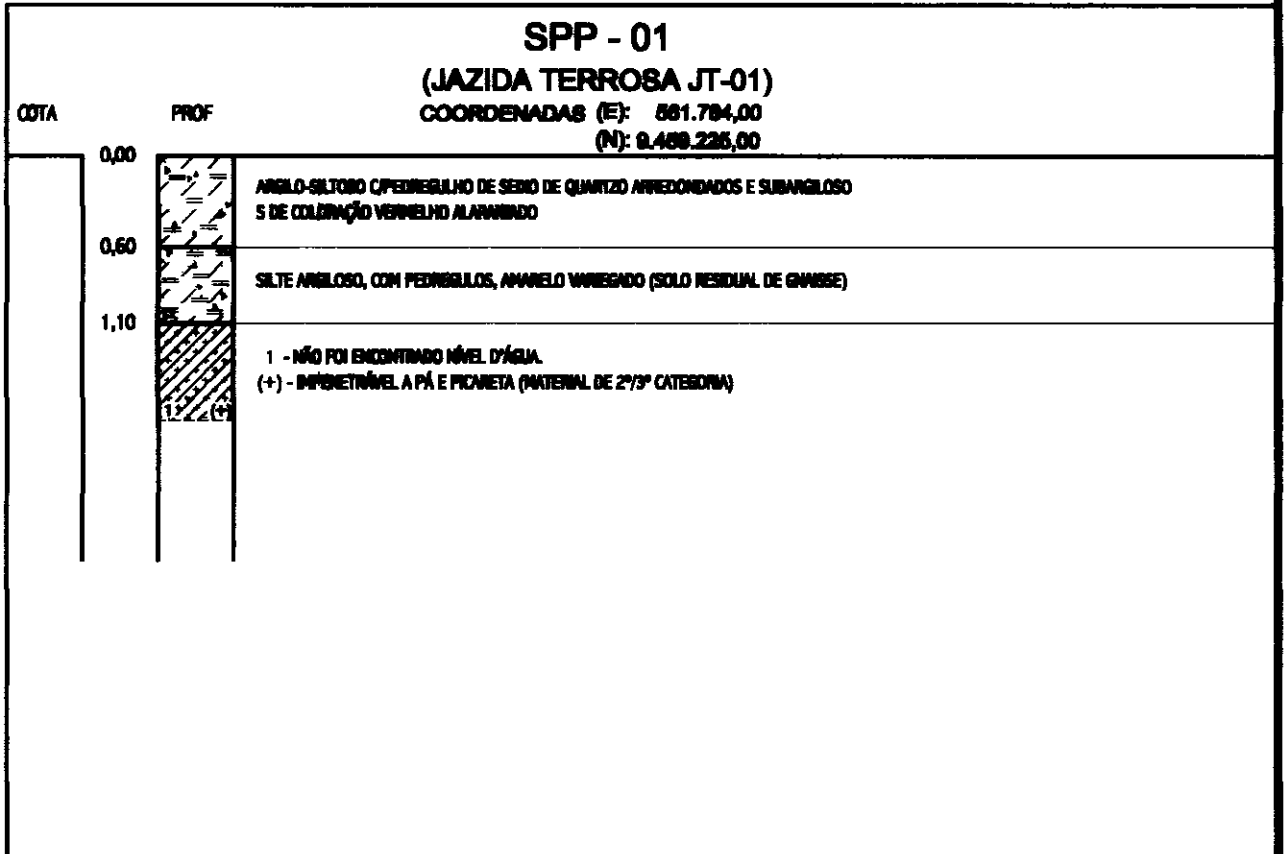






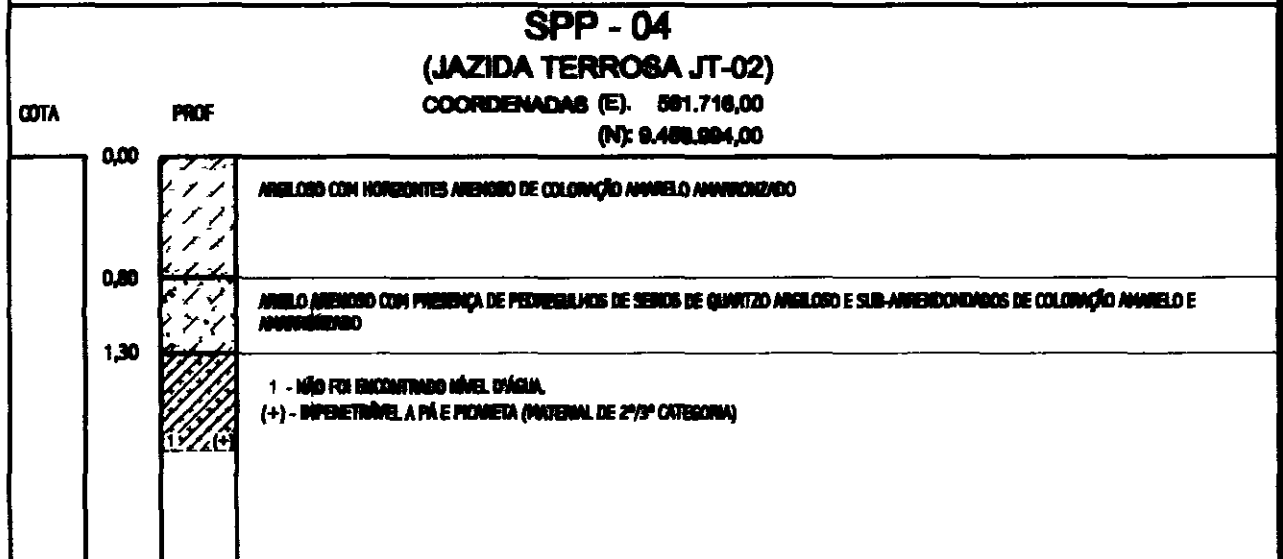
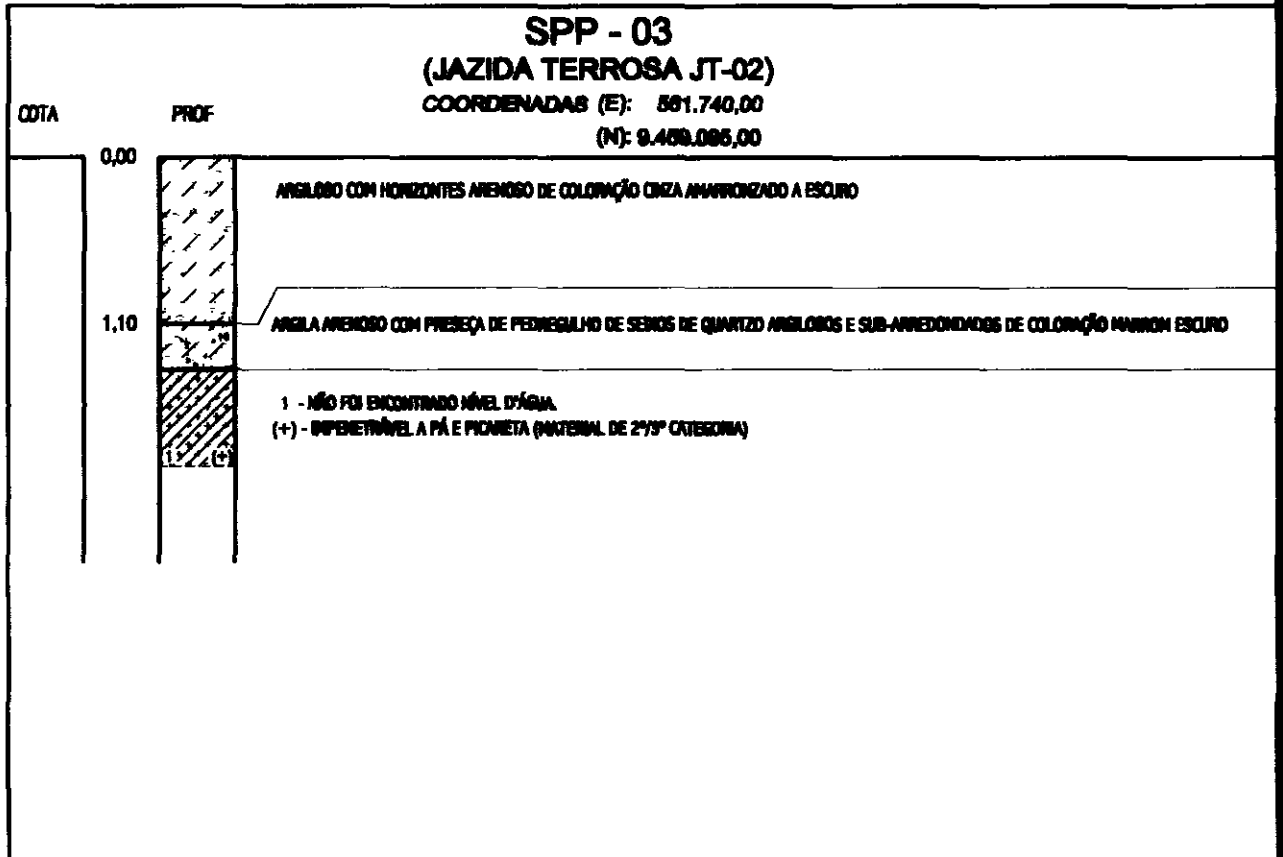


# SONDAGEM À PÁ E PICARETA



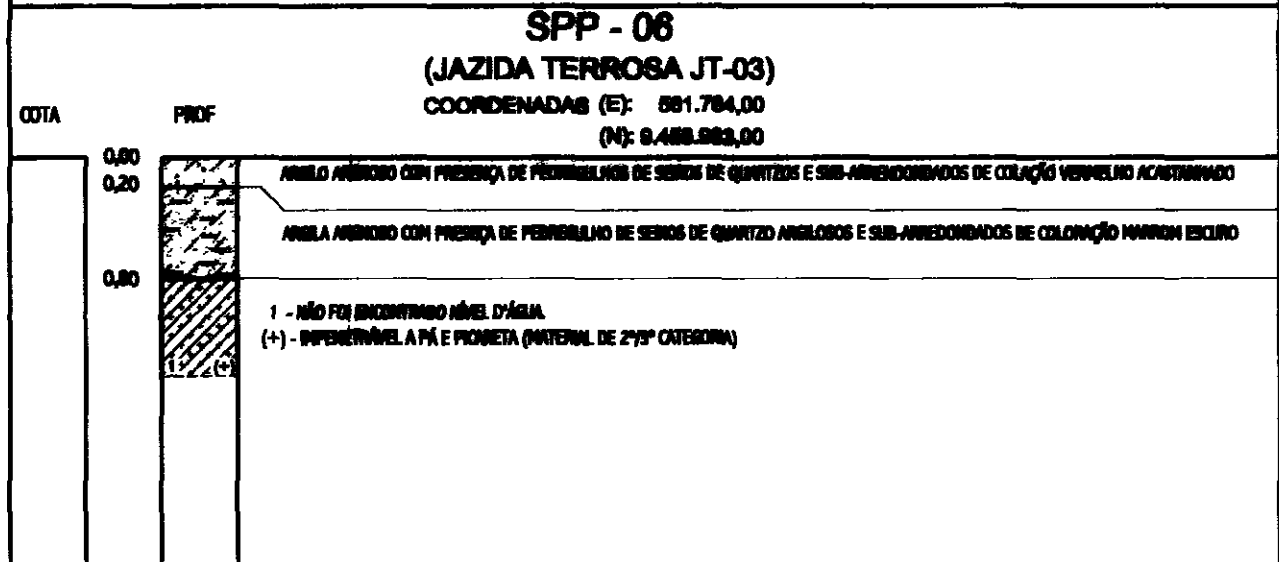
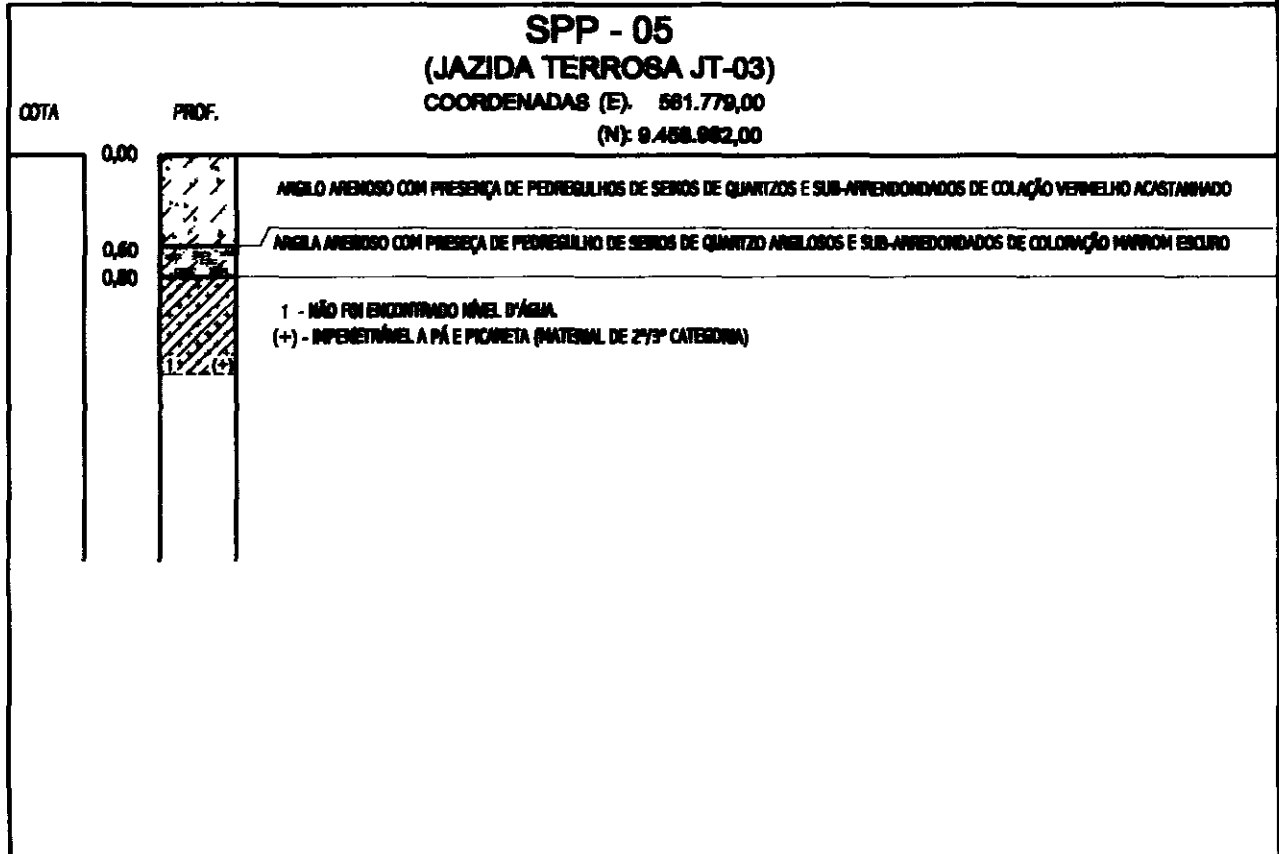
<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b>			
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H			
DATA: 14/12/00	DESENVOLVIDOR	VISTO.	
ESC. 1:50	APROV		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>01</b>


# SONDAGEM À PÁ E PICARETA



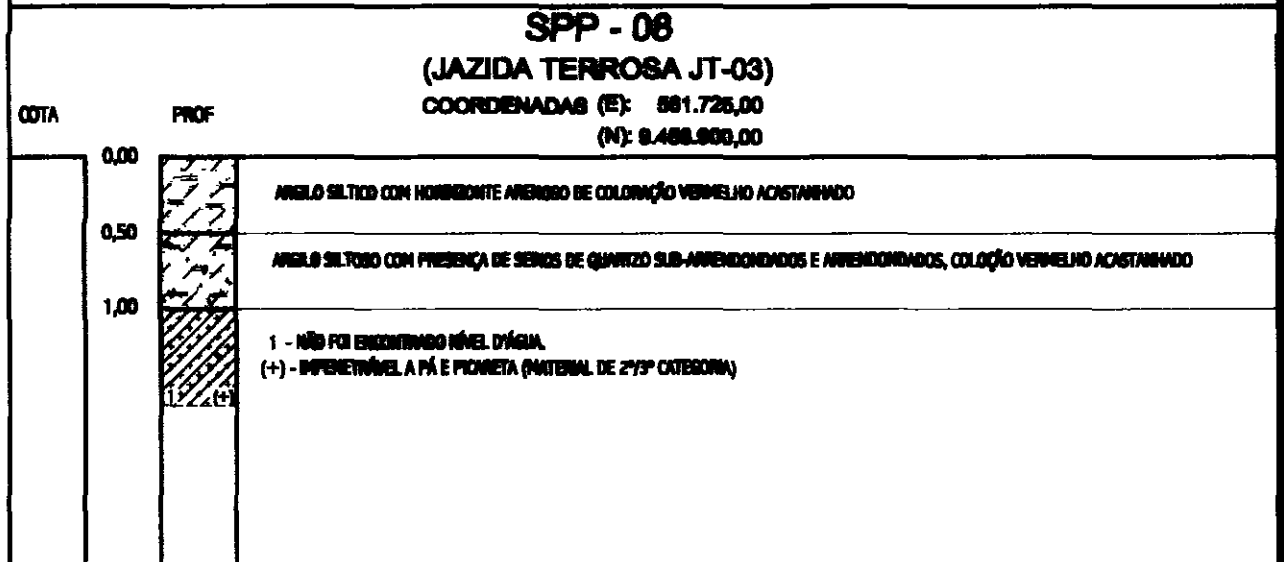
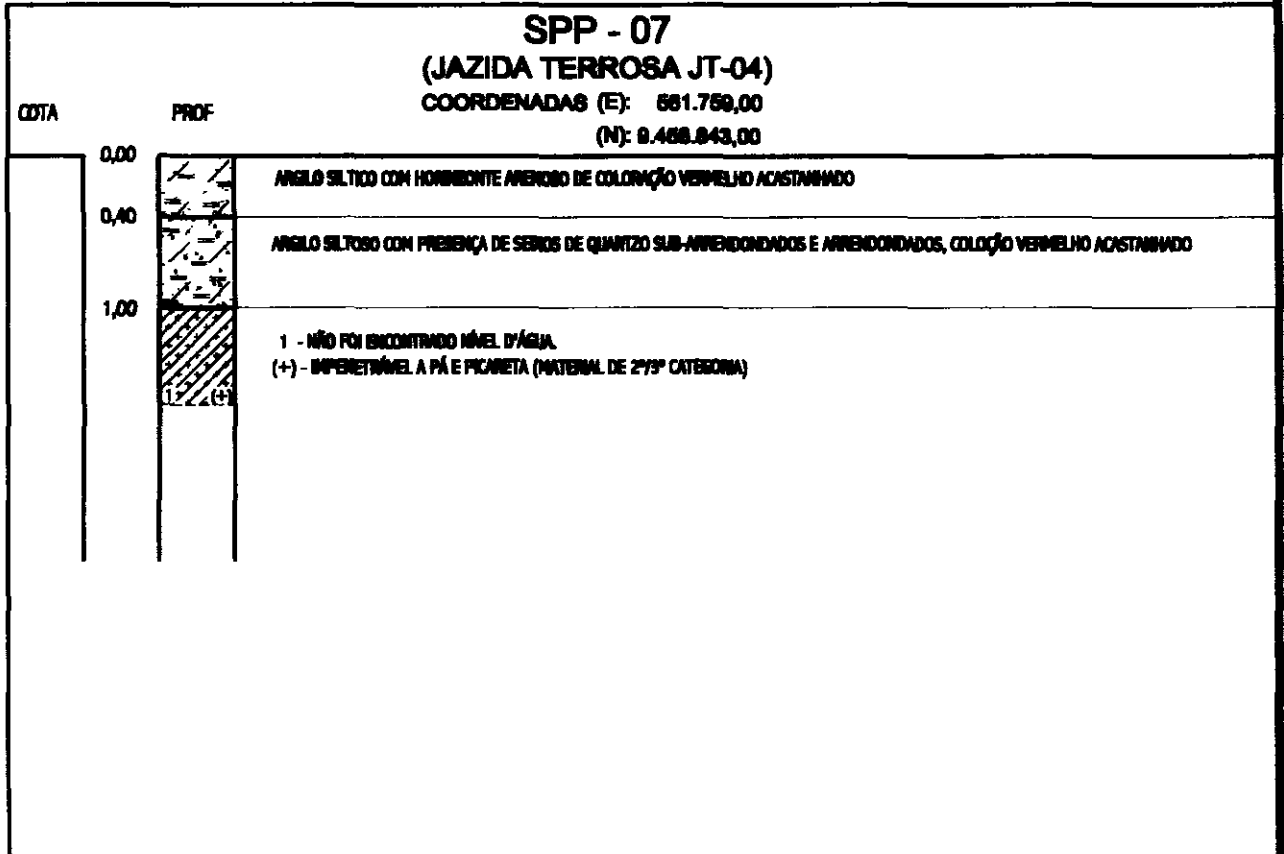
<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/00	DIR. Estadual	VISTO.	
ERC: 1:30	APROV.		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>02</b>


# SONDAGEM À PÁ E PICARETA



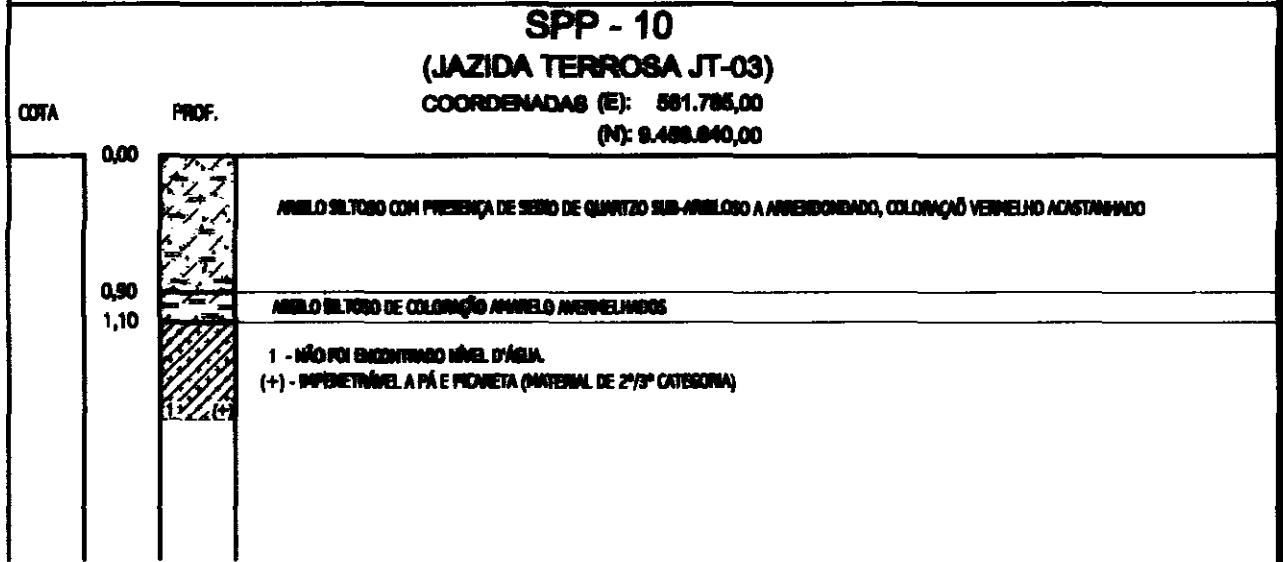
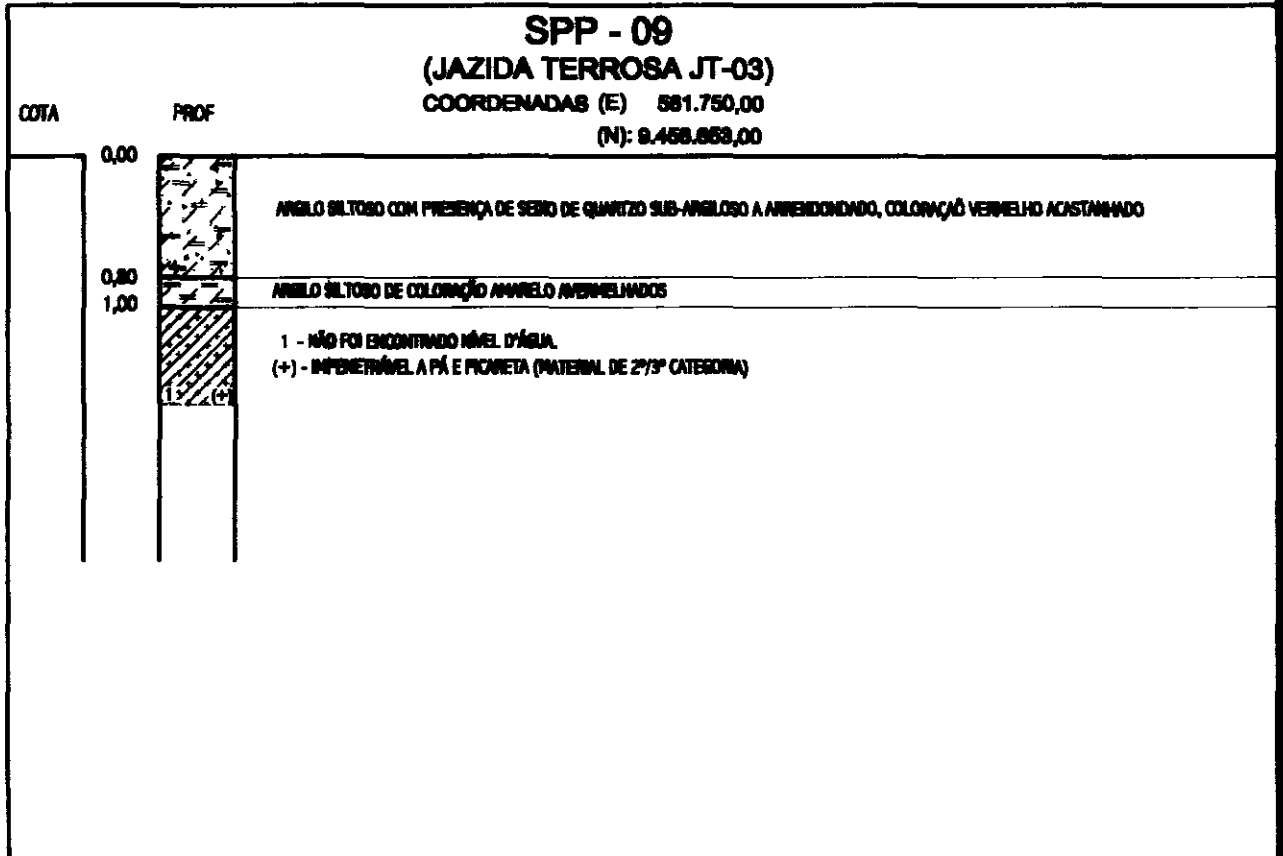
<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b>			
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/80	DES. Elab:	VISTO	
ENC. 1:30	APROV		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>03</b>

# SONDAGEM À PÁ E PICARETA



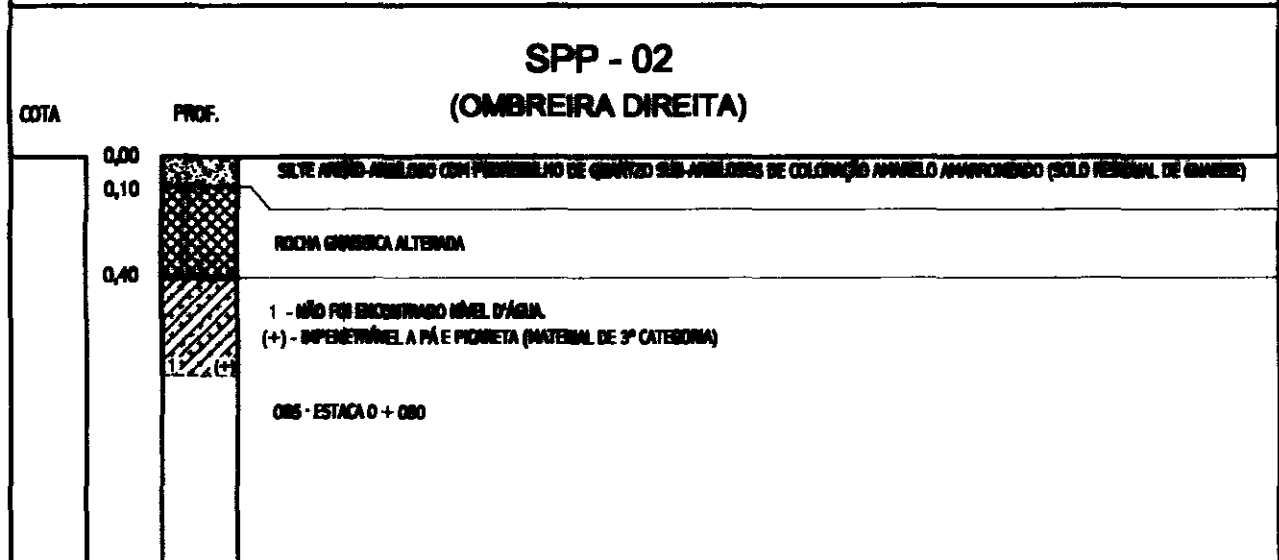
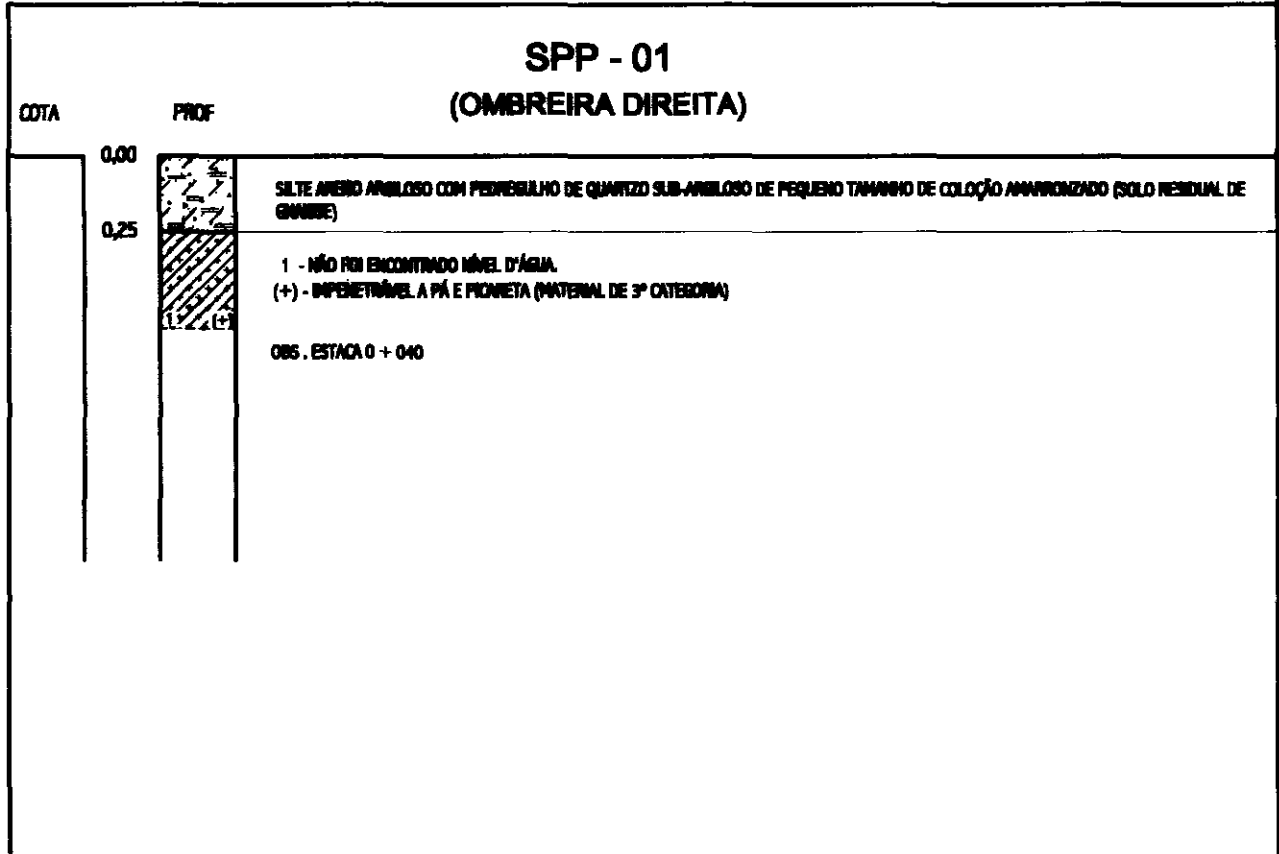
<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/00	DES. EMISS.	VISTO.	
ENC. 1:50	APROV.		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>04</b>

# SONDAGEM À PÁ E PICARETA



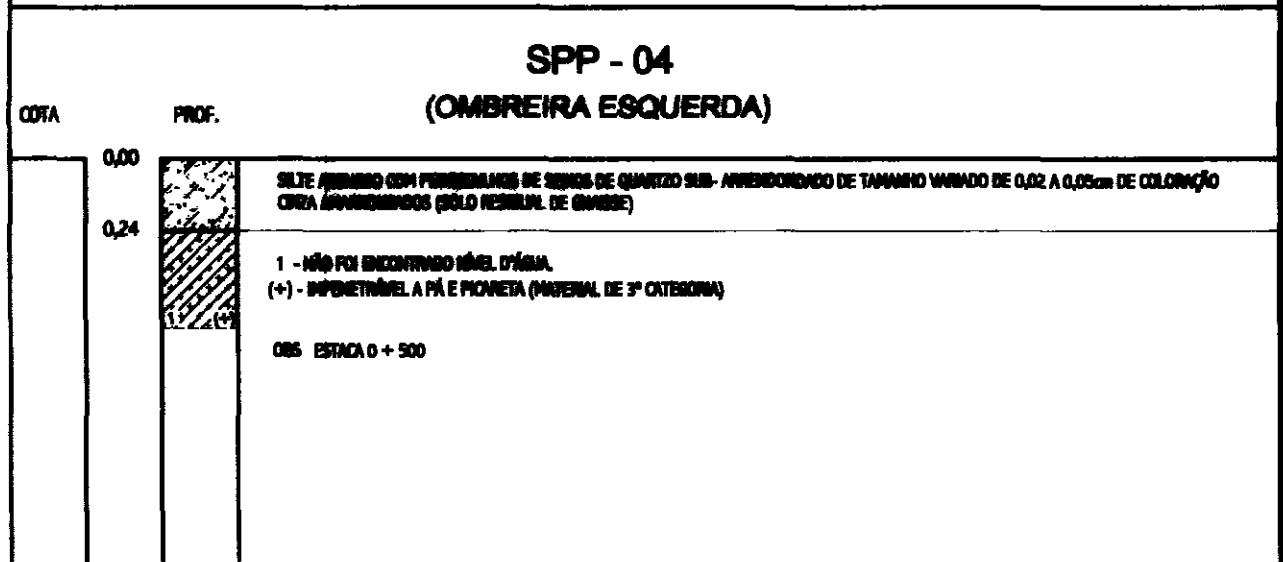
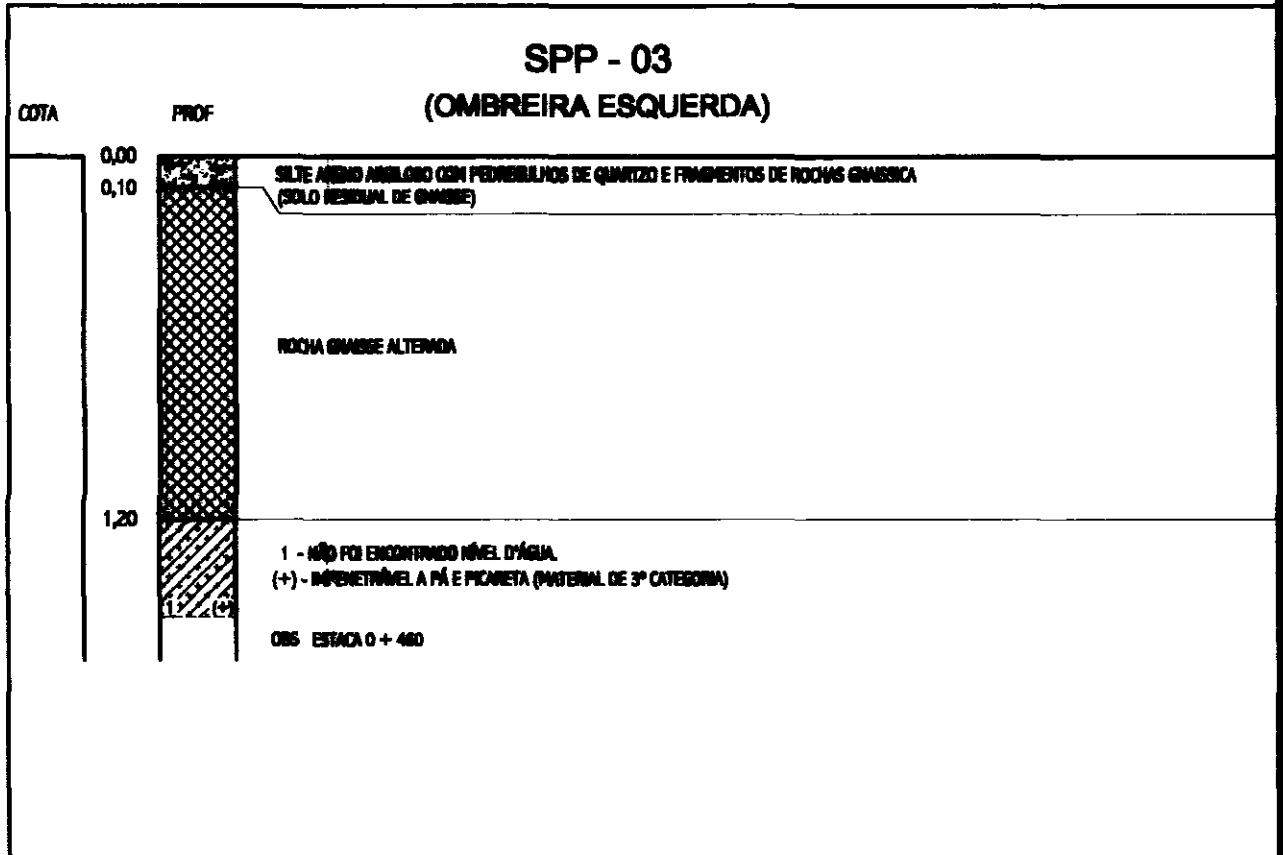
<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b>			
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/00	DEL. Estadual	VICIO.	<b>JUNOT</b>
ESC. 1:30	APROV		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>05</b>

# SONDAGEM À PÁ E PICARETA



<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b>			
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/00	DES. <i>Marcelo</i>	VISTO.	
ESC. 1:25	APROV		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>06</b>

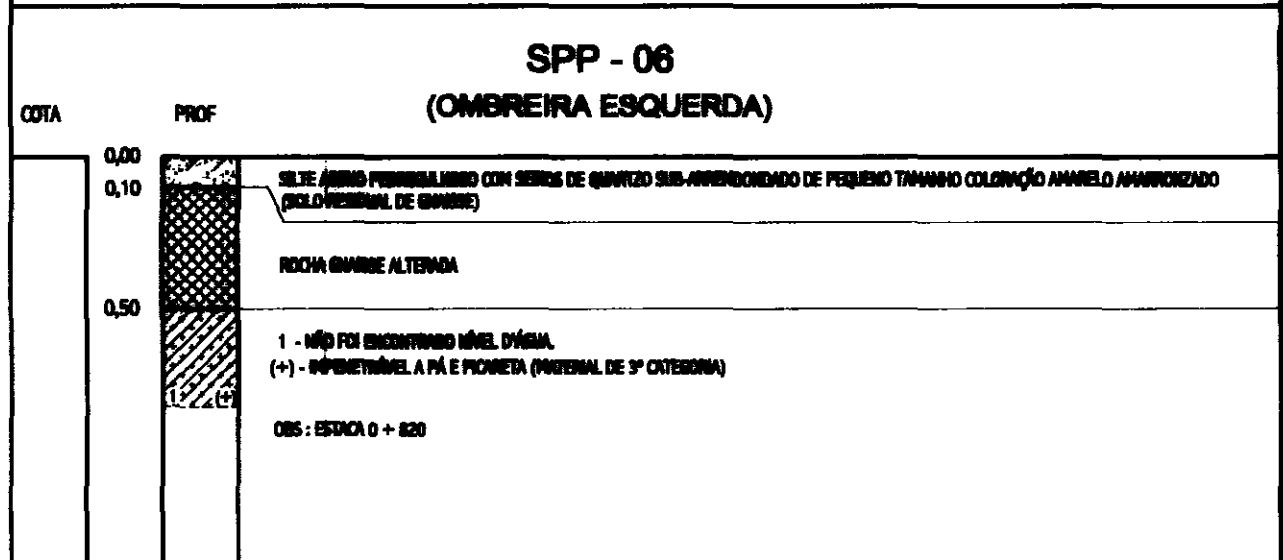
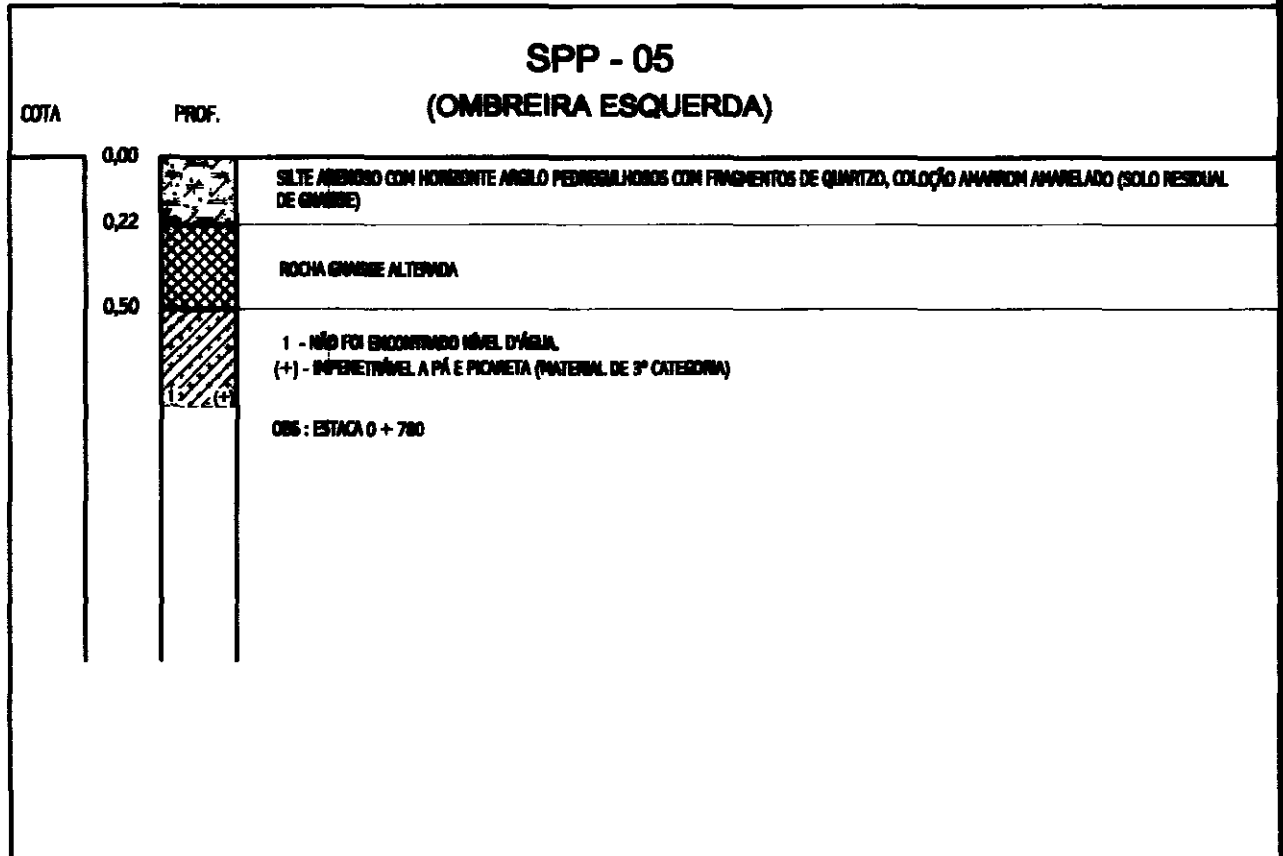
# SONDAGEM À PÁ E PICARETA



<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/00	DES. Elabor.	VISTO.	
ESC. 1:25	APROV.		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>07</b>

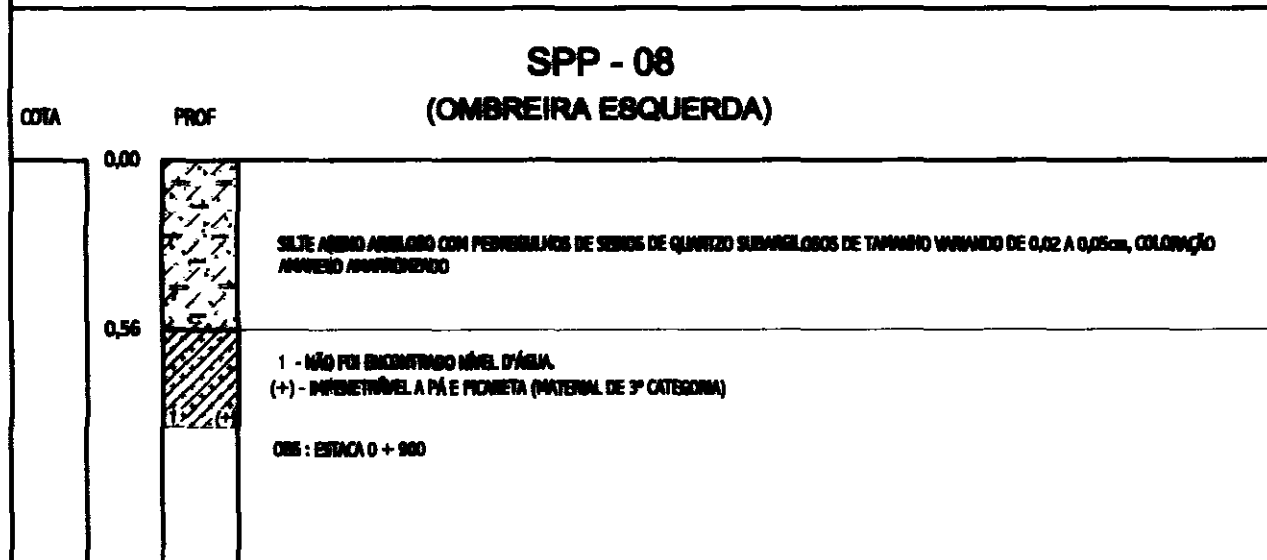
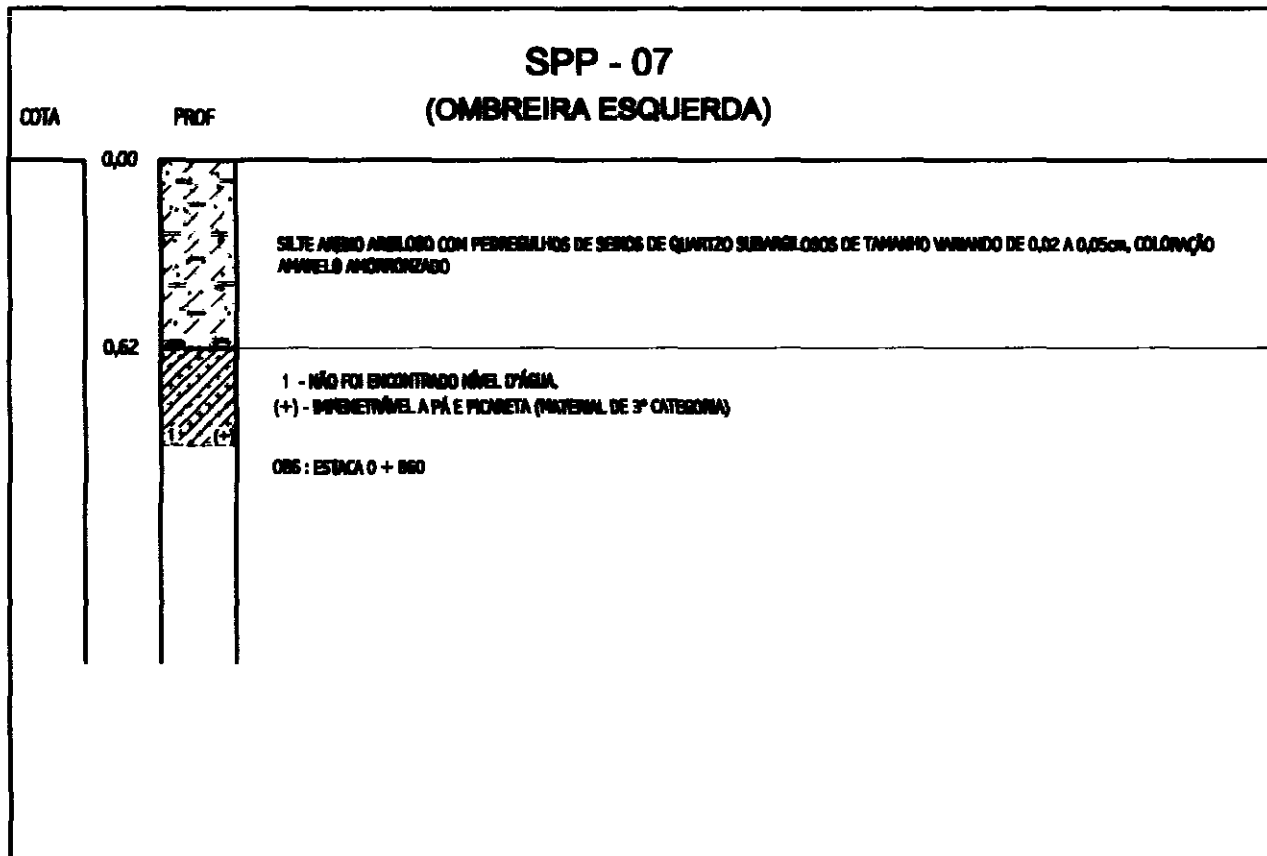


# SONDAGEM À PÁ E PICARETA



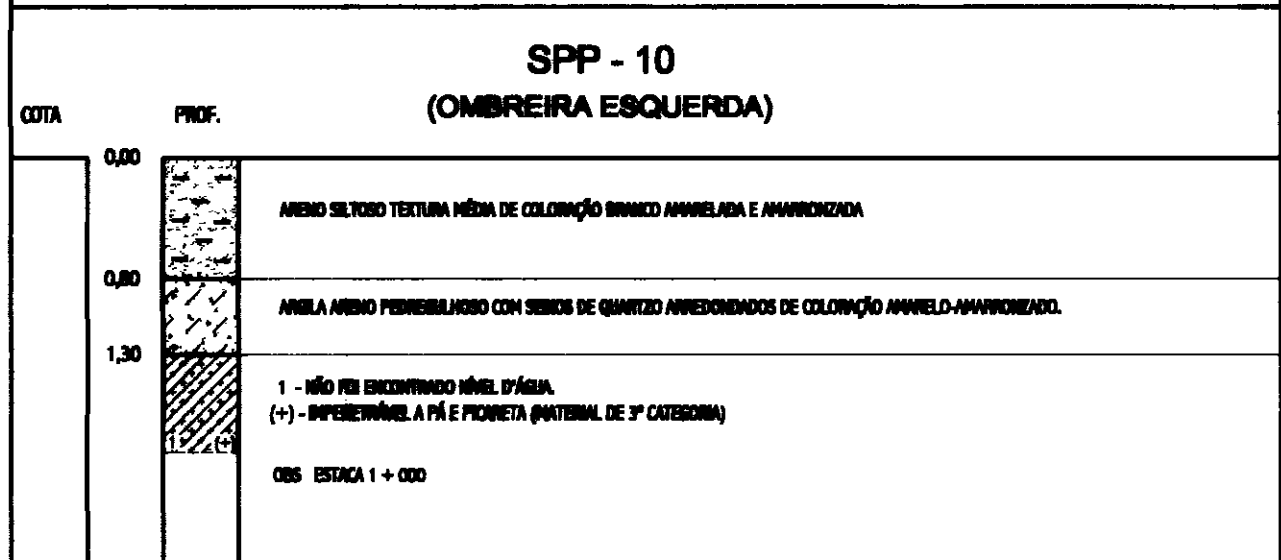
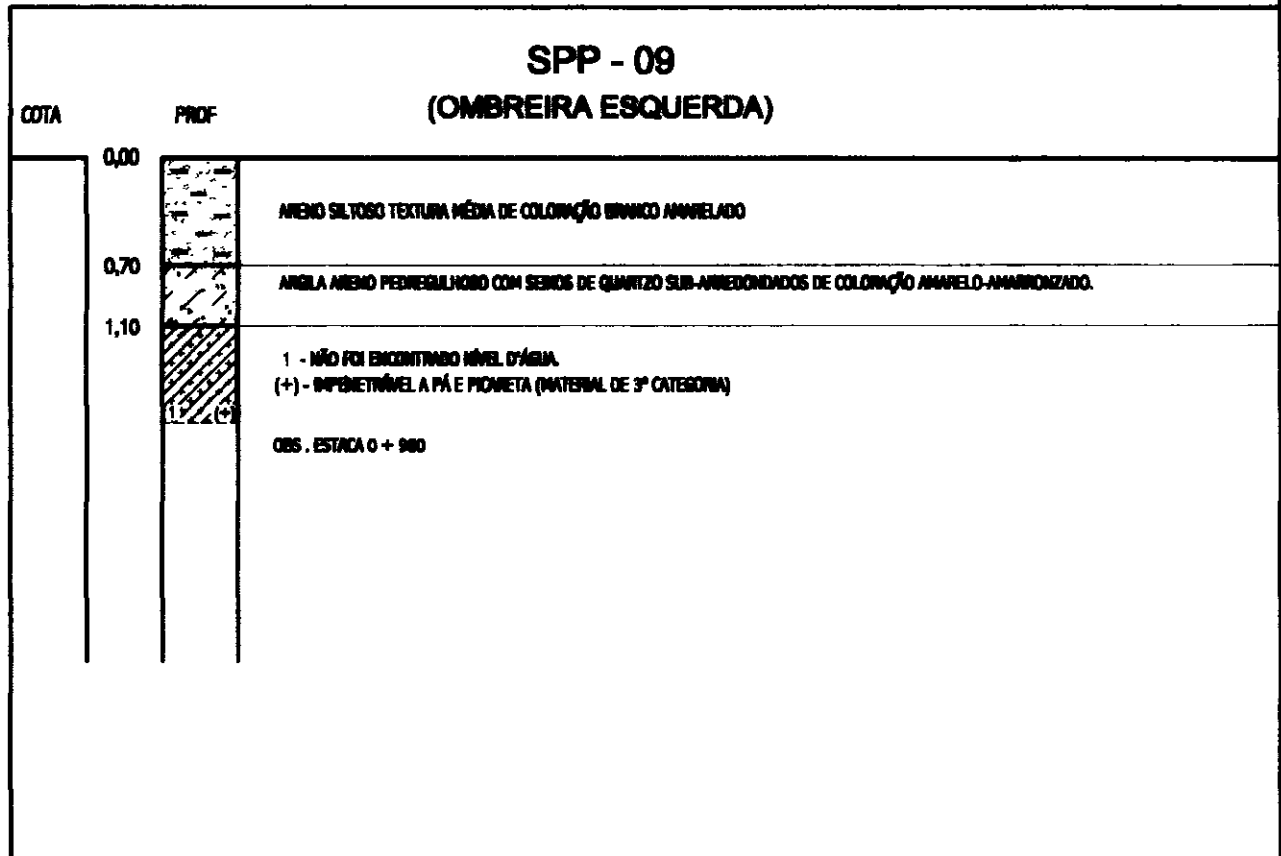
<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b>			
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/00	DES. Elabor.	VISTO.	
ESC. 1:25	APROV.		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>08</b>

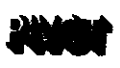
# SONDAGEM À PÁ E PICARETA



<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b>			
SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/00	DES. Elabor.	VISTO.	
ENC. 1:25	APROV		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>09</b>

# SONDAGEM À PÁ E PICARETA

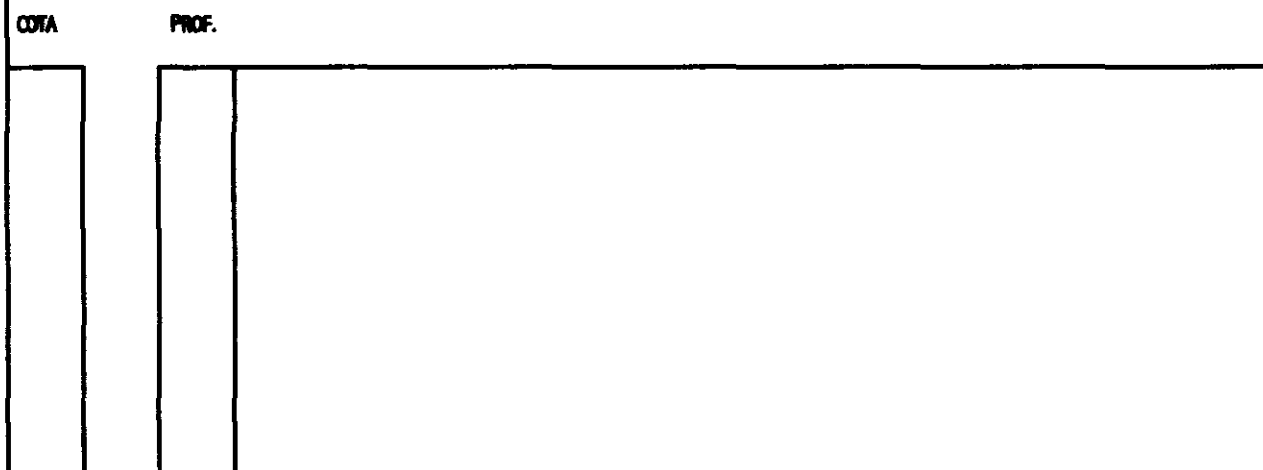
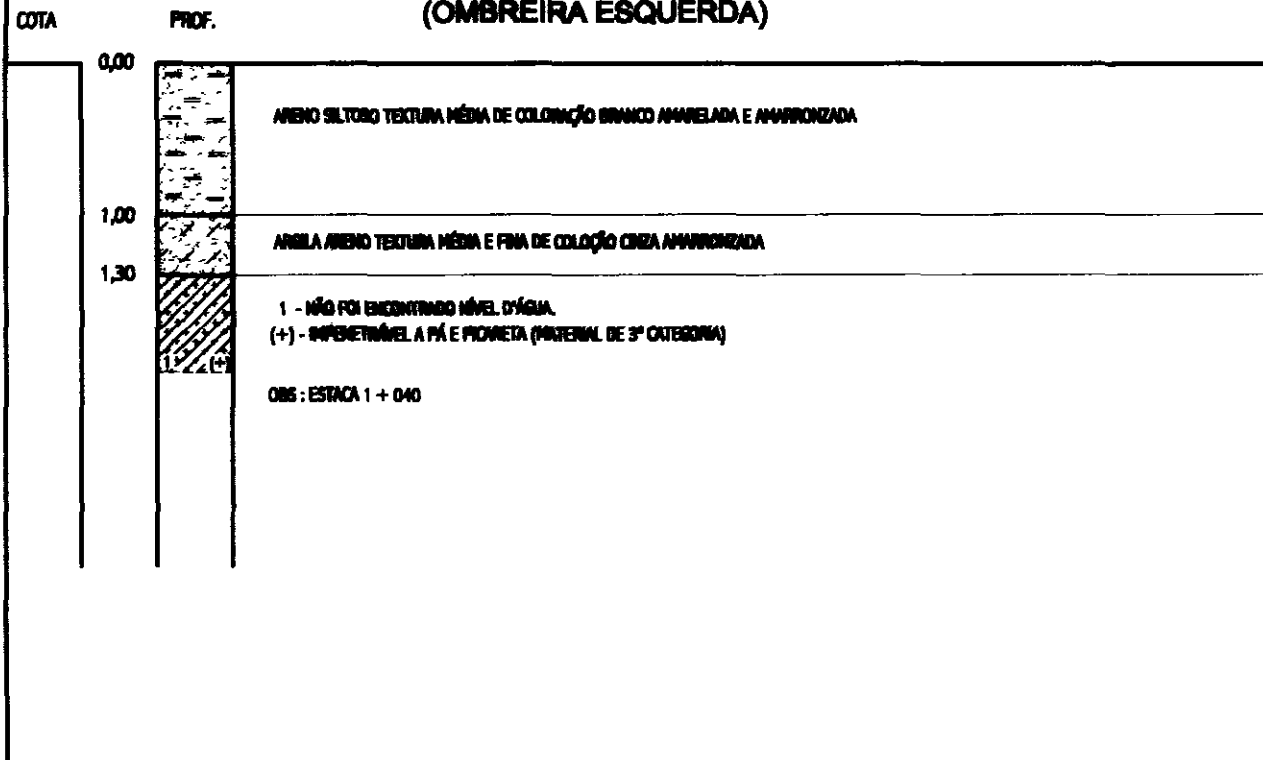




<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b> SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/00	DES. <b>Blasck</b>	VISTO.	
EBC: 1:30	APROV		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>10</b>

# SONDAGEM À PÁ E PICARETA

## SPP - 11

### (OMBREIRA ESQUERDA)



<b>GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ</b>			
SECRETARIA DOS RECURSOS HUMANOS - S. R. H.			
DATA: 14/12/00	DES. 	VOTO.	
ENC. 1:30	APROV		
<b>AÇUDE PÚBLICO CHILE</b>			<b>11</b>