

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CARACTERISTICAS DE BARRAGENS DE TERRA
CONSTRUIDAS NO ESTADO DA PARAIBA.

Dissertação de Mestrado

FARID GEORGES ABDALLAH

Area de Concentração: Geotecnia

Orientador:

Prof. J.B. QUEIROZ DE CARVALHO, Ph.D

Co-orientador:

Prof. RAIMUNDO LEIDIMAR BEZERRA, M. Sc.

CAMPINA GRANDE-PB, abril de 1990

DIS
(G. ABDALLAH)
A3350



A135c Abdallah, Farid Georges
Características de barragens de terra construídas no Estado da Paraíba / Farid Georges Abdallah. - Campina Grande, 1990.
226 f. :

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia.

1. Recursos Hídricos - 2. Rede Hidrográfica - 3. Geotecnia 4. Dissertação I. Carvalho, J. B. Queiroz de, Dr. II. Bezerra, Raimundo Leidimar, Prof. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 627.824(043)

FARID GEORGES ABDALLAH

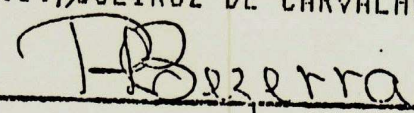
CARACTERISTICAS DE BARRAGENS DE TERRA
CONSTRUIDAS NO ESTADO DA PARAIBA.

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO
DOS CURSOS DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
DO CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA,
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

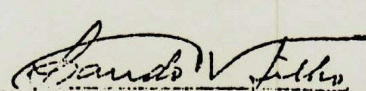
APROVADO POR :



Prof. J.B. QUEIROZ DE CARVALHO- Ph.D



Prof. RAIMUNDO LEIVIMAR BEZERRA- M.Sc.



Prof. ORLANDO DE CAVALCANTI VILLAR FILHO- M.Sc



Prof. VALDEZ BORGES SOARES- M.Sc.

CAMPINA GRANDE-PB, abril de 1990

Dedicada

- aos meus pais, pela educação.
- à minha esposa, pela coragem e paciência.
- e aos meus filhos, pelo amor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a DEUS, todo poderoso e ao Senhor JESUS CRISTO, por ter-me dado a vida, a paciência e a força necessária para a realização do presente mestrado.

Agradeço:

- ao meu orientador, professor João Queiroz de Carvalho, pela constante dedicação e estímulo.
- ao meu co-orientador, professor Raimundo Leidimar Bezerra, pela atenção e colaboração
- ao Presidente da CODEVASF, Dr. Elizeu Roberto Andrade Alves por ter autorizado a liberação do presente mestrado.
- ao Diretor da Engenharia da CODEVASF, Dr. Julio Barbalho, pelo apoio.
- ao chefe da 5ª. DRD. CODEVASF, Dr. Valner Peixoto Lima.
- aos meus colegas e funcionários da CODEVASF.
- aos professores, funcionários e colegas da UFPB.
- à ATECEL e ao CNPq pelo apoio financeiro.
- a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização da presente TESE.

R E S U M O

Nesta dissertação foi realizado, inicialmente, um levantamento das barragens de terra construídas no estado da Paraíba. Devido ao grande número foram selecionadas somente aquelas que dispunham dos projetos e parâmetros essenciais dos solos com que foram construídas.

O presente trabalho foi complementado com um estudo "in-situ" das características geotécnicas das barragens e estudos laboratoriais constituídos por ensaios para a determinação dos parâmetros de compactação, granulometria, plasticidade, permeabilidade, coesão e ângulo de atrito interno dos solos das barragens selecionadas. Em seguida foram analisadas as estabilidades das barragens para os períodos de construção e de reservatório cheio, utilizando-se o método de Bishop simplificado, com auxílio de um programa de computador.

Os resultados obtidos permitiram concluir que, na maioria das barragens estudadas não existe discrepância dos dados dos projetos originais com aqueles determinados na presente pesquisa.

Com relação ao programa de visitas às barragens, pode-se constatar que todas as barragens selecionadas para esta pesquisa apresentam deficiências de manutenção, já acarretando, em algumas barragens, problemas de natureza técnica.

A B S T R A C T

This thesis presents the results of an investigation carried out to assess the characteristics of earth dams in Paraíba state. Due to the large number of dams, only those with reasonable amount of geotechnical parameters were selected.

This research projet was supported by a laboratory investigation that consisted of compaction parameters, grain size distribution, permeability, plasticity, cohesion and friction angle determination as well as in situ determination of selected geotechnical parameters. The results obtained, allowed to be concluded that in the majority of the dams there was no discrepancy among the parameters determined and analysed and those from original design.

In relation to the program of visit to the dams, it was observed that in all the cases there was no maintenance in the dams, resulting in several cases, in technical problems.

INDICE

	Página
Dedicação	i
Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Índice	v
Capítulo I	1
1. Introdução	1
Capítulo II	3
2. Aspectos Gerais sobre Barragens de Terra.....	3
2.1. Introdução	3
2.2. Aspectos Gerais	3
2.2.1. Tipos	3
2.2.2. Altura	4
2.2.3. Coroamento	7
2.2.4. Proteção da Barragem	8
2.2.5. Percolação de água através do maciço de Bar- ragens de Terra	13
2.2.5.1. Percolação	16
2.2.5.2. Linha Freática	16
2.2.6. Movimentos de Massa	28
2.2.6.1. Causas de escorregamento	28
2.2.6.2. Classificação	30

2.2.6.3. Combate ao escorregamento	33
2.2.7. Estabilidade de Taludes de Barragens de Terra	34
2.2.7.1. Fator de Segurança	34
2.2.7.2. Situações críticas	36
i- Fase de Construção	37
ii- Fase de Reservatório Cheio	37
iii- Fase de Esvaziamento Rápido	38
2.2.7.3. Parâmetros B e A do Solo	38
2.2.7.4. Métodos de Análise de Estabilidade de Taludes	41
2.2.7.5. Métodos de Análise de Estabilidade em Tensões-Deformações	41
2.2.7.6. Métodos de Equilíbrio Limite não Consi- derando Fatias	42
- Método de Culmann	42
- Método do Círculo de Atrito	43
- Método de Collin	46
- Método de Espiral Logarítmica	49
2.2.7.7. Métodos que Consideram Fatias	51
- Método de Fellenius	54
- Método de Bishop	55
- Método de Spencer	61
- Método de Morgenstern e Price	62
2.3. Conclusões	63

Capítulo III	64
3. Materiais e Métodos	64
3.1. Introdução	64
3.2. Materiais	64
3.2.1. Características das Barragens Seleccionadas...	64
3.2.1.1. Localização	64
3.2.1.2. Geologia	66
i) Gnaisse	66
ii) Granito	69
iii) Mica-xisto	69
iv) Filito	69
3.2.1.3. Clima	70
3.2.1.4. Rede Hidrográfica	70
3.2.1.5. Comportamento e Características Atuais das Barragens seleccionadas	75
- Barragem São José	75
- Barragem Serra Vermelha I	77
- Barragem Frutuoso II	78
- Barragem Queimadas	78
- Barragem Bom Jesus	79
- Barragem Albino	82
- Barragem Martelo	85
- Barragem Salitre	85
- Barragem Pocinhos	86
- Barragem Santo Antonio	87
- Barragem Serra Branca II	87

- Barragem Cordeiro	88
- Barragem Curimatã	89
- Barragem Boa Vista	90
- Barragem Craibeiras	90
- Barragem Poleiros	97
- Barragem Araçagi	99
- Barragem Riacho do Emídio	104
- Barragem Massaranduba	104
- Barragem Serra Redonda	106
3.2.2. Amostras de Solo	107
3.3. Métodos	107
3.3.1. Introdução	107
3.3.2. Ensaio In-Situ	109
3.3.2.1. Sondagens à Percussão com Circulação de Água	109
3.3.2.2. Ensaio de Permeabilidades "in-situ", (Carga Constante)	111
3.3.3. Ensaio Laboratorial	117
i). Compactação	117
ii). Limites de Atterberg	117
iii). Granulometria	118
iv). Ensaio Triaxial	118
v). Permeabilidades	121
vi). Classificação dos Solos	122

3.3.4. Estabilidade das Barragens Seleccionadas	123
3.3.4.1 Figuras Geométricas das Barragens	123
3.3.4.2 Cálculo da Estabilidade	124
Capítulo IV	129
4. Apresentação e Análise dos Resultados	129
4.1. Introdução	129
4.2. Resultados Obtidos nos Ensaios Triaxiais	129
4.3. Resultados Obtidos nos ensaios de permeabilidades ..	134
4.4. Resultados Obtidos nas Sondagens à Percussão.....	136
4.5. Resultados dos Ensaios de Compactação dos Solos	137
4.6. Resultados dos Ensaios de Granulometria, Limites de Atterberg e Classificação dos Solos	140
4.7. Posição da Linha Freática	144
4.8. Resultados do Estudo da Estabilidade das Barragens .	146
Capítulo V	151
5. Conclusões	151
Capítulo VI	153
6. Sugestões para Pesquisas Futuras	153
Referências Bibliográficas	154
Anexo 1 - Seções Máximas das Barragens Seleccionadas.....	160
Anexo 2 - Seções Transformadas	184
Anexo 3 - Gráficos Referentes às Sondagens à Percussão..	190

Anexo 4 - Cálculo da Estabilidade de Taludes, pelo Método Bishop Simplificado, através do Programa de Computador	212
Anexo 5 - Cálculo Manual do Coeficiente de Segurança, F, pelo Método de Bishop Simplificado	220

1. INTRODUÇÃO

O Nordeste é uma região do Brasil de difícil desenvolvimento, devido principalmente aos problemas climáticos e ambientais. Uma possível solução de desenvolvimento vem exigindo maior empenho dos profissionais responsáveis pelas técnicas e métodos capazes de equacionar tais problemas que atingem quase a totalidade da população rural nordestina. A região apresenta um clima quente e seco e a precipitação pluviométrica é pouco frequente e má distribuída. Quando chove a água tende a escoar superficialmente devido à presença de rochas cristalinas impermeáveis, não permitindo a infiltração para armazenamento da água no solo. Uma maneira de resolver esse problema, ou pelo menos minimizá-lo, é com a acumulação de água para suprir as necessidades básicas das populações, tanto em termos de abastecimento de água potável quanto na criação de sistemas de irrigação, o que é normalmente feito com a construção de barragens de terra.

O objetivo desta pesquisa é avaliar as características das barragens de terra construídas no estado da Paraíba. Para tanto, será feita uma análise da estabilidade dos taludes das barragens selecionadas, realização de ensaios in-situ para a determinação dos parâmetros de permeabilidade

e compactidade dos solos, e ensaios de laboratório para determinar as características de granulometria, plasticidade, compactação e resistência ao cisalhamento dos solos que constituem essas barragens. Objetiva-se ainda, verificar o comportamento atual das barragens selecionadas, no que concerne a problemas de manutenção e erosão superficial, através de um programa de visitas às barragens selecionadas.

C A P Í T U L O I I

2. ASPECTOS GERAIS SOBRE BARRAGENS DE TERRA.

2.1. INTRODUÇÃO

Considerando a limitação de material bibliográfico sobre os diversos aspectos das barragens selecionadas para esta pesquisa, este capítulo apresentará aspectos gerais relacionados à barragens de terra.

2.2. ASPECTOS GERAIS.

2.2.1. Tipos

Segundo Esteves (1964), as barragens de terra podem apresentar vários tipos quanto à sua construção dependendo do aproveitamento dos materiais disponíveis em melhores condições econômicas e da sua localização.

As barragens podem ser classificadas em três grupos:

- secção homogênea ;
- secção zonada;
- secção com diafragma impermeável.

Segundo Carvalho (1983), as barragens de terra, podem ser divididas em três grupos:

- barragem homogênea;
- barragem zoneada e
- barragem mista.

No estado da Paraíba a maioria das barragens construídas são de porte médio com a altura máxima de 27,0 metros. A **Fotografia 1**, mostra o maciço de uma das barragens em estudo.

2.2.2. Altura

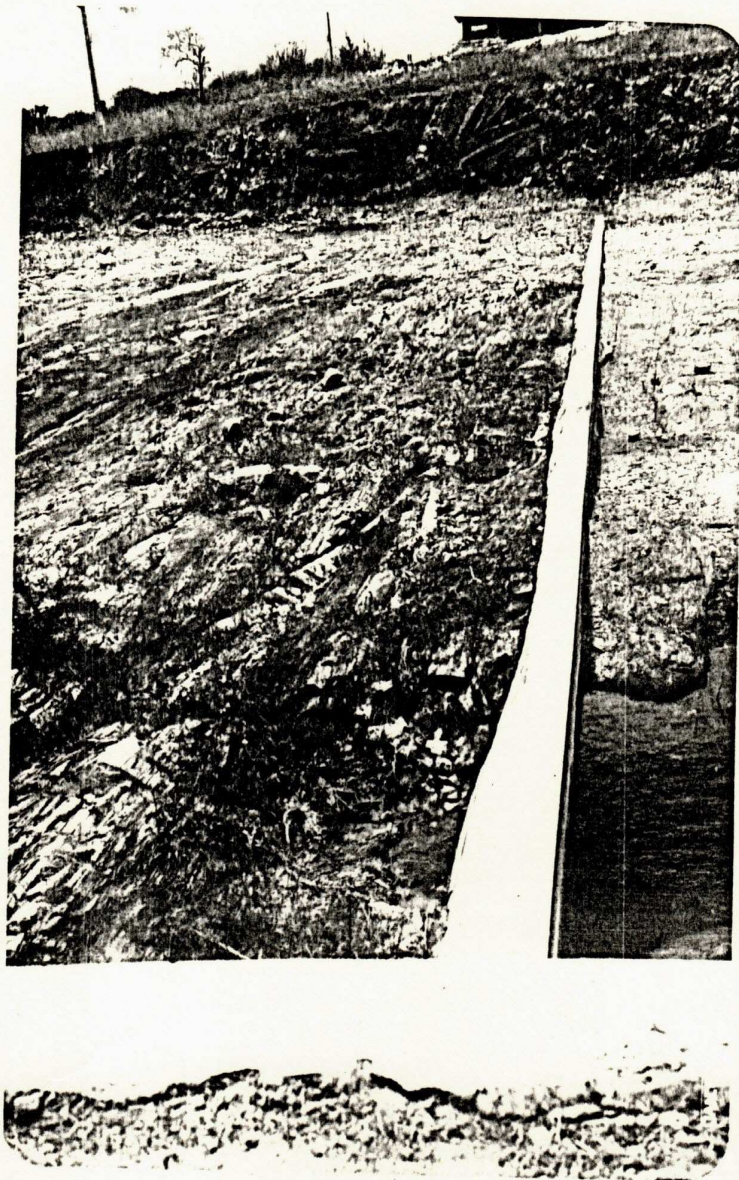
A altura de uma barragem de terra é considerada como sendo a diferença de cotas existentes entre o coroamento ou crista da barragem e o leito do rio, no ponto mais baixo do talvegue. Esta altura é decomposta em duas parcelas: a altura de acumulação e a revanche, que é a diferença de cotas existente entre o coroamento da barragem e a soleira do sangradouro, ou seja a cota a partir da qual a água começa a verter no referido sangradouro. A **Fotografia 2** mostra um sangradouro típico de uma barragem no estado da Paraíba.

A altura de uma barragem está diretamente ligada à configuração topográfica do boqueirão a ser barrado, e a sua capacidade de acumulação, a qual está diretamente ligada às condições hidrológicas da região e ao tamanho da sua bacia hidrográfica.



Fotografia- 1

- Exemplo de uma barragem de terra construida na região sémi-árida.
(Barragem Albino, municipio de Imaculada-PB).



Fotografia - 2

Exemplo de um sangradouro de uma barragem de terra .
(barragem Poleiros, municipio da Barra de Santa Rosa, estado da Paraíba).

2.2.3. Coroamento

Segundo Esteves (1964), a largura do coroamento de uma barragem depende de vários fatores. Entre eles pode-se destacar:

- natureza dos materiais compactados;
- facilidade de execução;
- necessidade de passagem de rodovia sobre a barragem.

Segundo Carvalho (1983), o U.S. Bureau of Reclamation sugere aproximadamente 6,0m de largura como o mínimo para médias e grandes barragens.

Para pequenas barragens, o Departamento Nacional de Obras contra as Secas (DNOCS), Carvalho (1983) adota 3 m de largura.

O U.S. Bureau of Reclamation adota a fórmula empírica:

$$c = 0,20 H + 3,0$$

Onde:

c= largura do coroamento da barragem, em m;

H= altura da barragem, em m.

Na construção do coroamento de uma barragem de terra, deve ser observada uma declividade para os lados de montante e para jusante em torno de 2%, para promover a drenagem das águas pluviais de modo a evitar

8
poças que, acumuladas provocam erosões tanto maiores quanto mais intenso fôr o tráfego.

Segundo Carvalho, (1983), além das observações acima, deve ser colocada, na construção do coroamento, uma camada de até 0,50m de espessura de material permeável, para evitar a saturação do coroamento causada pela ascensão capilar das águas oriundas da descarga freática que se dá através dos materiais finos.

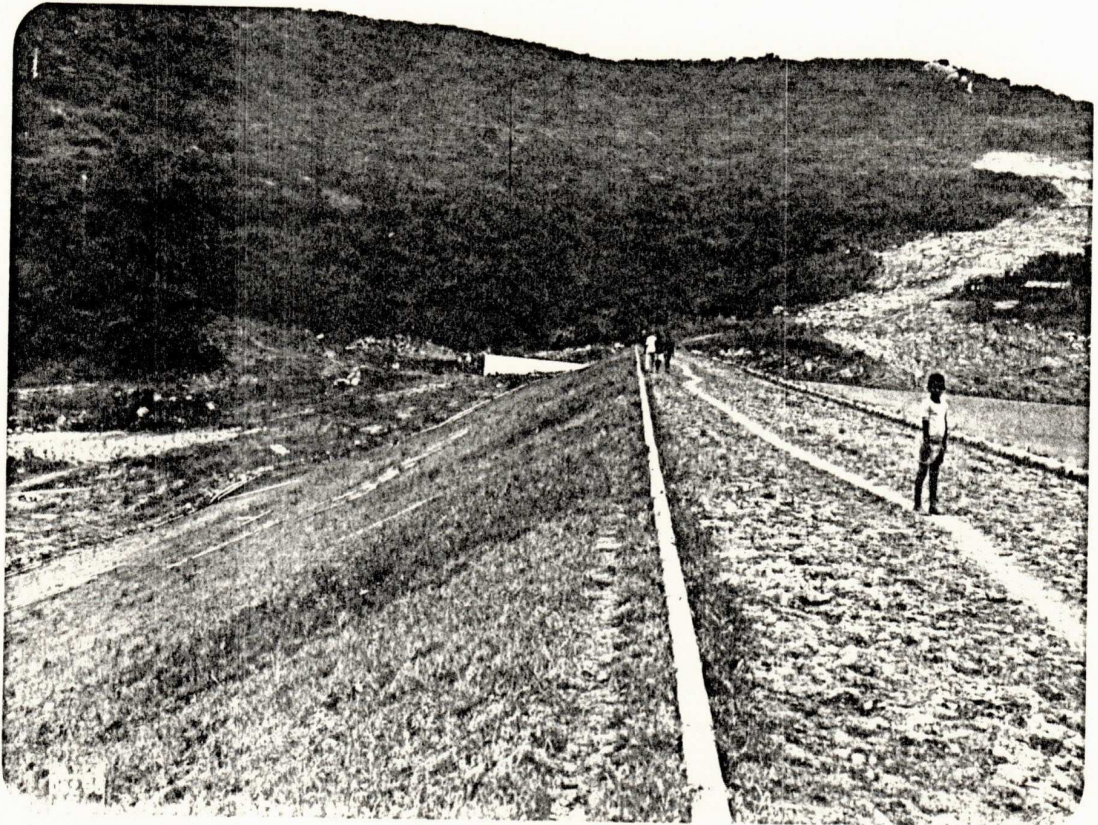
A proteção do coroamento é feita com a construção de dois meio-fios, com massa rejuntada, conforme mostra a **Fotografia 3**.

2.2.4. Proteção da Barragem

Segundo Esteves (1964), o talude de montante, numa barragem de terra, sofre a ação das intempéries decorrentes das precipitações pluviométricas, bem como da ação das vagas formadas no lago. Em consequência de tais fenômenos, o paramento virá a erodir-se caso não seja construído um sistema de proteção.

O tipo de proteção do talude montante adotado depende do material existente em cada região:

- rip-rap, (pedras lançadas), conforme mostra a **Fotografia- 4**;
- rip-rap, (pedras arrumadas);
- Placas de Concreto;



Fotografia 3 - Exemplo de um meio-fio, construído no coroamento de uma barragem de terra para facilitar a drenagem e protegê-la contra a erosão superficial. (barragem Riacho do Emídio, Montadas-PB).



Fotografia - 4

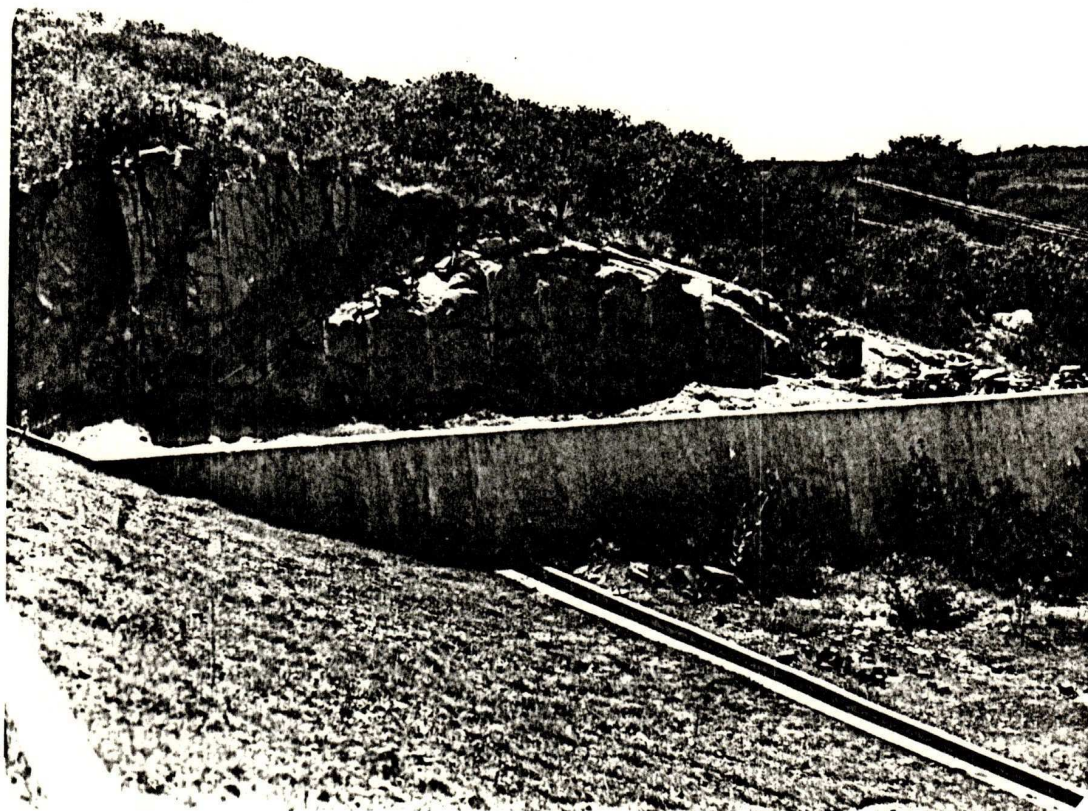
Exemplo de um "rip-rap" (pedras
lançadas) (barragem Bom Jesus,
município de Água Branca-PB).

- pedras rejuntadas;
- asfalto

Segundo Carvalho (1983), para pequenas barragens, adota-se a proteção do talude à montante, abaixo do rip-rap, execução de um filtro, com espessura igual à metade da do rip-rap, observando uma espessura mínima de 0,30m com um material de granulometria variada gradualmente, (areia, fina, areia média, areia grossa, pedregulhos e pedras).

A proteção do talude de jusante pode ser feita com a mesma solução adotada no talude de montante ou através de plantação de grama. Neste tipo de proteção há que se prever a ação das chuvas ao longo da superfície do paramento de jusante. Nesse caso, constrói-se um sistema de drenagem superficial constituído geralmente de calhas de descida, calhas longitudinais e calhas de lançamento. Na **Fotografia 5**, pode ser vista uma parte dessa drenagem.

Dependendo da permeabilidade do solo, parte de jusante do maciço sofrerá a ação da descarga freática que se dá através do maciço advindo, por consequência, erosão da face exposta do talude de jusante. Daí a necessidade de se rebaixar a superfície superior da zona submetida a descarga freática. Tal rebaixamento acarreta à introdução de dispositivos de drenagem na parte jusante da barragem.



Fotografia 5 - Exemplo de um sistema drenante, através de calhas coletoras.
(barragem Albino, Imaculada-PB).

Esses dispositivos podem ser:

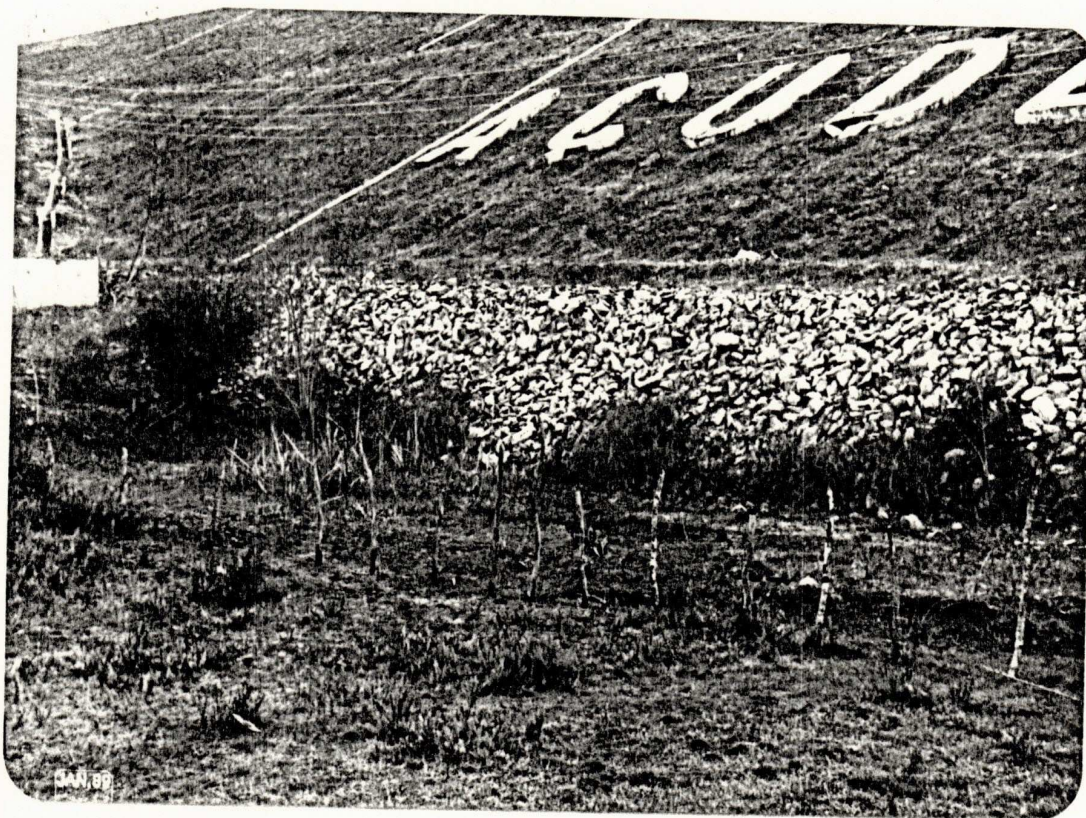
- rock-fill, conforme **Fotografias 6 e 7;**
- filtro tipo tapête ou tipo chaminé.

Segundo Silva (1986), as barragens de terra constituem o exemplo mais importante pois, sendo uma das obras de engenharia que mais riscos envolve, são feitas geralmente com bastante cuidado e contrôle, principalmente no que se refere à compactação dos solos.

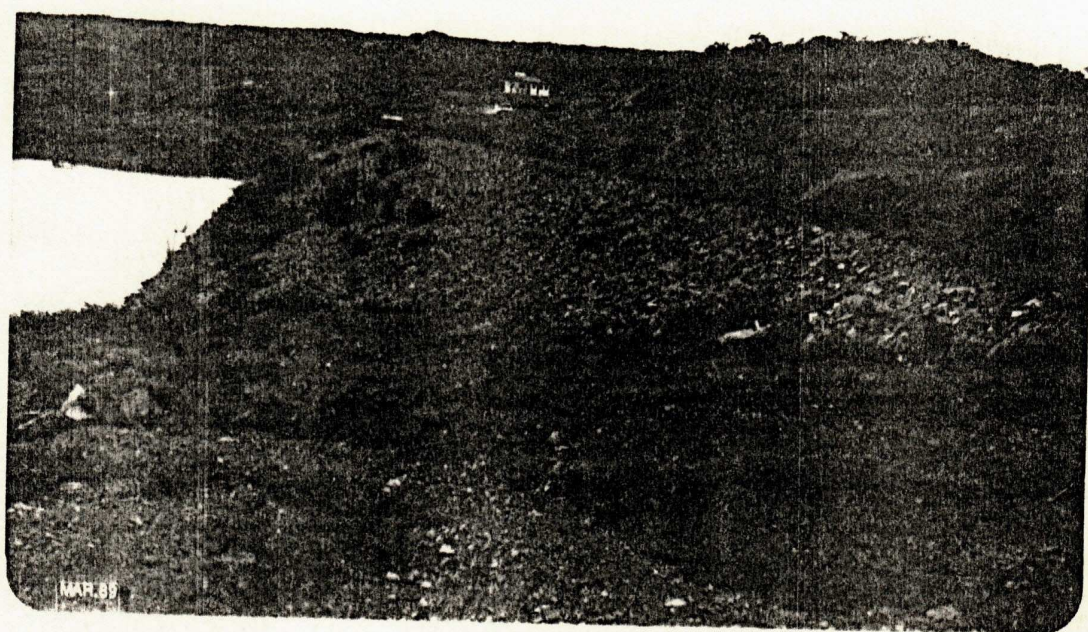
2.2.5. Percolação de Água no Maciço de Barragens de Terra.

Segundo Esteves (1964), o escoamento de um líquido no solo pode dar-se em dois estados característicos: escoamento laminar e o escoamento turbulento, considerando-se laminar ainda que em certos solos, constituídos por grãos muito grossos.

No caso de barragens de terra, o escoamento refere-se ao das águas do reservatório através do corpo da barragem e das fundações. Assim um dos objetivos do projeto será o de reduzir à valores aceitáveis as perdas por infiltração. É então importante que sejam conhecidas as características de permeabilidade, tanto das fundações como dos maciços.



Fotografia 6 - Exemplo de um rock-fill, construído no pé do talude jusante da barragem para sua proteção. (barragem Poleiros, Barra de Santa Rosa-PB).



Fotografia - 7

Barragem Bom Jesus, (Água Branca-PB),
mostrando vista panorâmica do "rip-
rap" no talude de montante.

2.2.5.1. Percolação

O coeficiente de permeabilidade varia para os diferentes solos e depende essencialmente do índice de vazios do solo e da temperatura líquido.

O escoamento da água através dos solos é governado pela lei de Darcy, $Q/A = v = k.i$ assumindo, portanto especial importância o valor da permeabilidade K , onde:

v = velocidade de descarga, é a quantidade de água que percola na unidade de tempo, através de uma área unitária, perpendicular à direção do escoamento;

Q = é o caudal escoado através de uma área A ;

A = área de escoamento;

K = coeficiente de permeabilidade do solo;

i = gradiente hidráulico que se pode definir, como a relação entre a perda de carga h , e o comprimento da linha de escoamento onde se dá tal perda.

2.2.5.2. Linha Freática

A linha freática é uma linha equipressão. Em todos os pontos tem a pressão hidrostática igual a zero.

Casagrande aponta o processo de uma parábola para determinar a linha freática, sendo definida como uma curva cujos pontos são equidistantes de um ponto chamado foco e de uma linha chamada diretriz, conforme mostra a **Figura 1**.

Segundo Esteves (1964), o traçado da linha freática numa barragem de terra, sem filtro e com material homogêneo, deve obedecer à três condições básicas:

- a pressão hidrostática na linha freática é nula. Desta maneira a única carga existente é a de posição, havendo portanto, quedas constantes de carga entre equipotenciais sucessivas (**Figura 2 a**);

- na zona de entrada a linha freática deve ser normal ao talude de montante, que é uma equipotencial (**Figura 2 b**);

- na zona de saída, a água tende a seguir caminhos de acordo com a ação da gravidade (**Figura 2 c**)

Nota-se que a saída da água se verifica no talude jusante da barragem, a qual poderá provocar carreamento de material e subsequêntemente ocasionar a ruptura do talude.

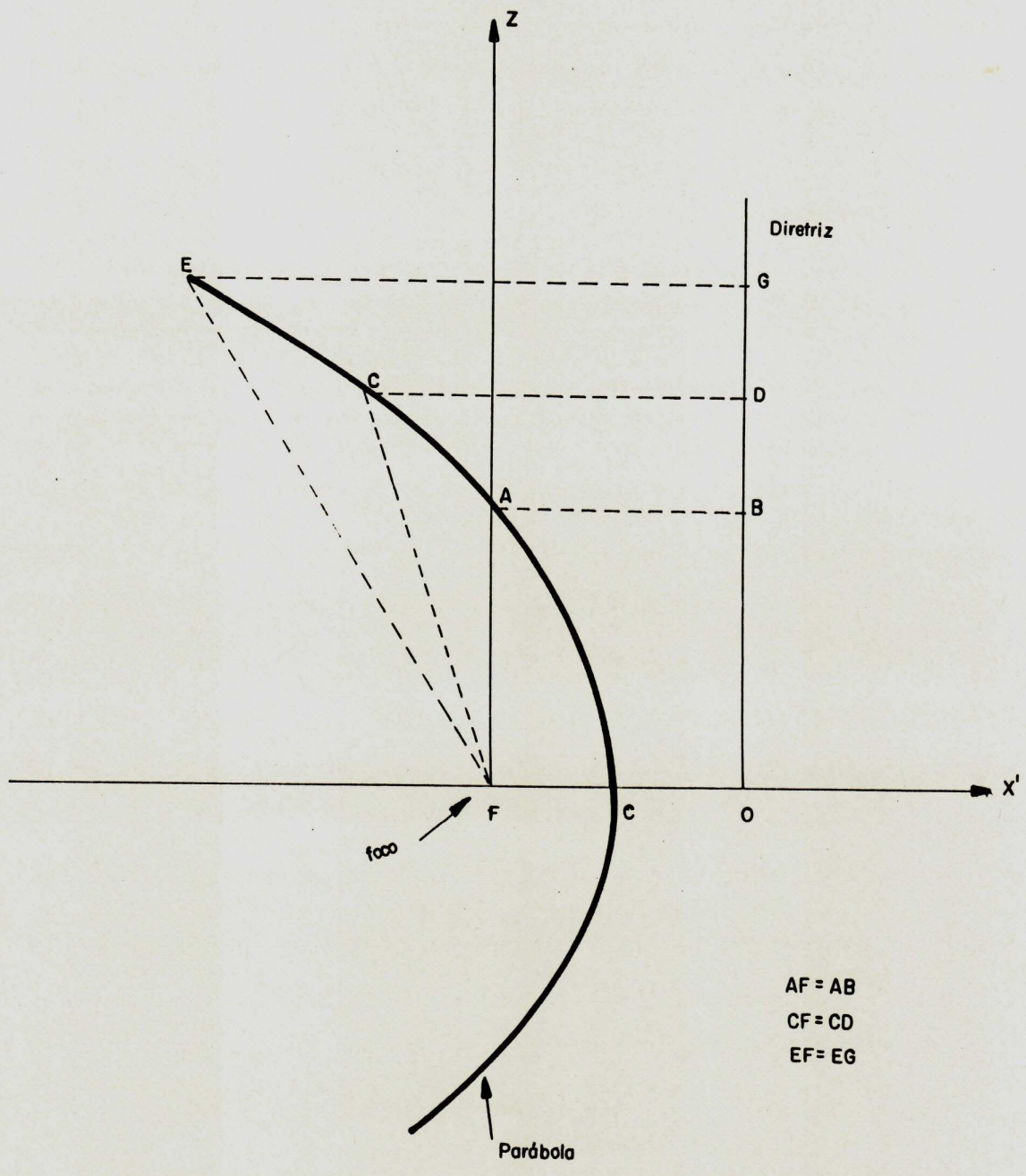


Figura 1 - Mostra a construção da parábola de Casagrande.

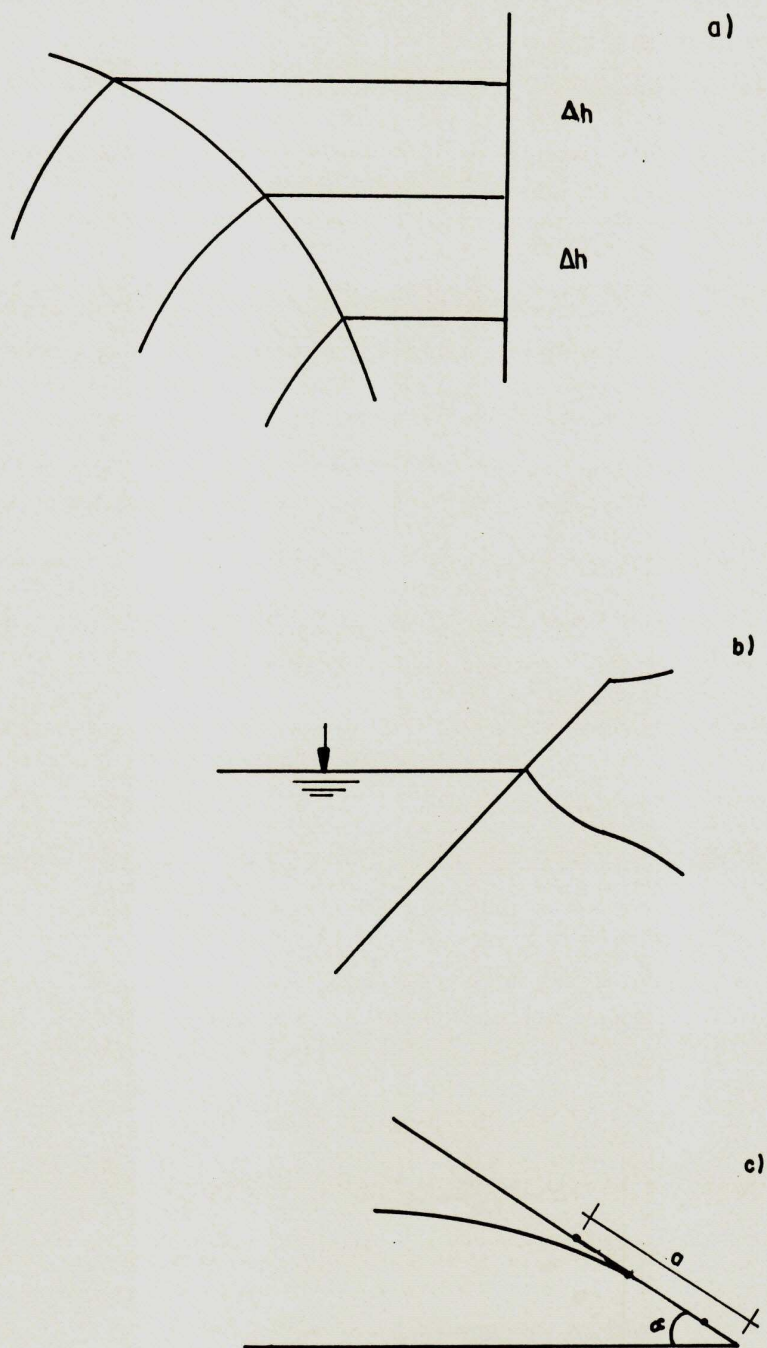


Figura 2: Mostra o traçado da linha freatica, Es teves (1964).

- a) quedas constantes entre equipotenciais;
- b) na zona de entrada, e normal a equipotencial;
- c) saída no talude de jusante segundo L. Casagrande.

Segundo Esteves (1964), Leo Casagrande desenvolveu uma solução para o caso da correção da linha freática, apresentando um gráfico que determina o ponto de saída da água no talude jusante. A **Figura 3** ilustra a referida solução.

Para achar o valor de "a", desenvolveu-se a seguinte equação:

$$a \operatorname{sen} \alpha = m \cdot ht$$

onde:

a = distância PF;

P = ponto da saída da água;

F = foco da parábola de Casagrande;

m = determinado através do gráfico da

Figura 4;

ht = altura do nível da água no reservatório;

α = ângulo do talude.

O ponto da saída da água no talude jusante, pode ser determinado também, pelo método da parábola de Kozeny, conforme ilustrado na **Figura 5**, sendo que, para taludes com ângulo menor que 30 graus, aplica-se a fórmula:

$$L = \sqrt{b^2 + H^2} - \sqrt{b^2 - H^2 \cotg \theta}$$

onde:

L = distância MF;

b = distância entre a projeção do ponto A₀ e o ponto F;

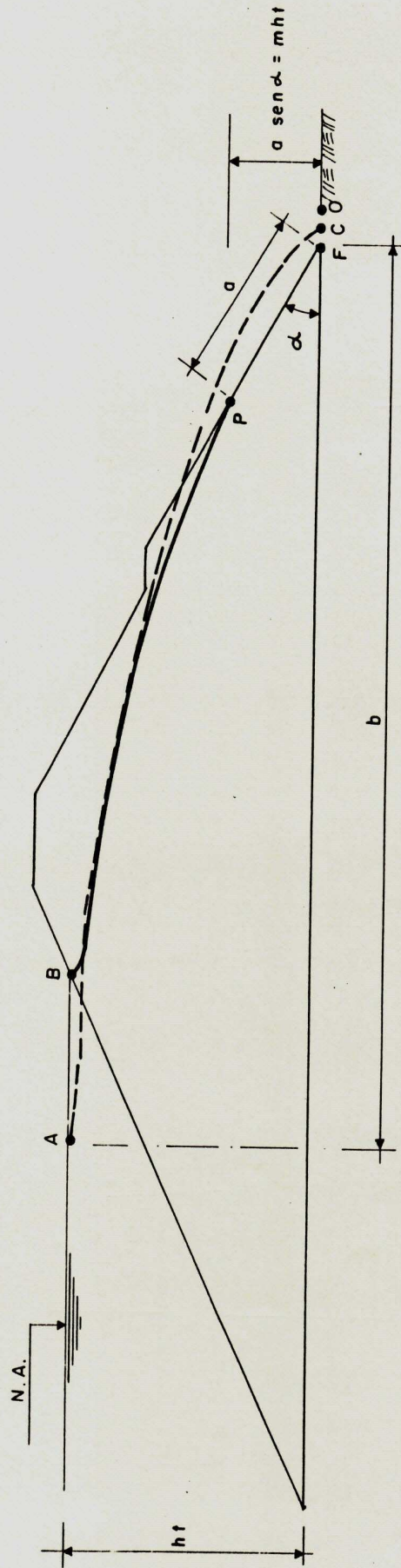


FIGURA 3 - MOSTRA A SOLUÇÃO DESENVOLVIDA POR LEO CASAGRANDE PARA CORREÇÃO DA SAÍDA DA LINHA FREÁTICA, PARA UMA BARRAGEM SEM FILTRO

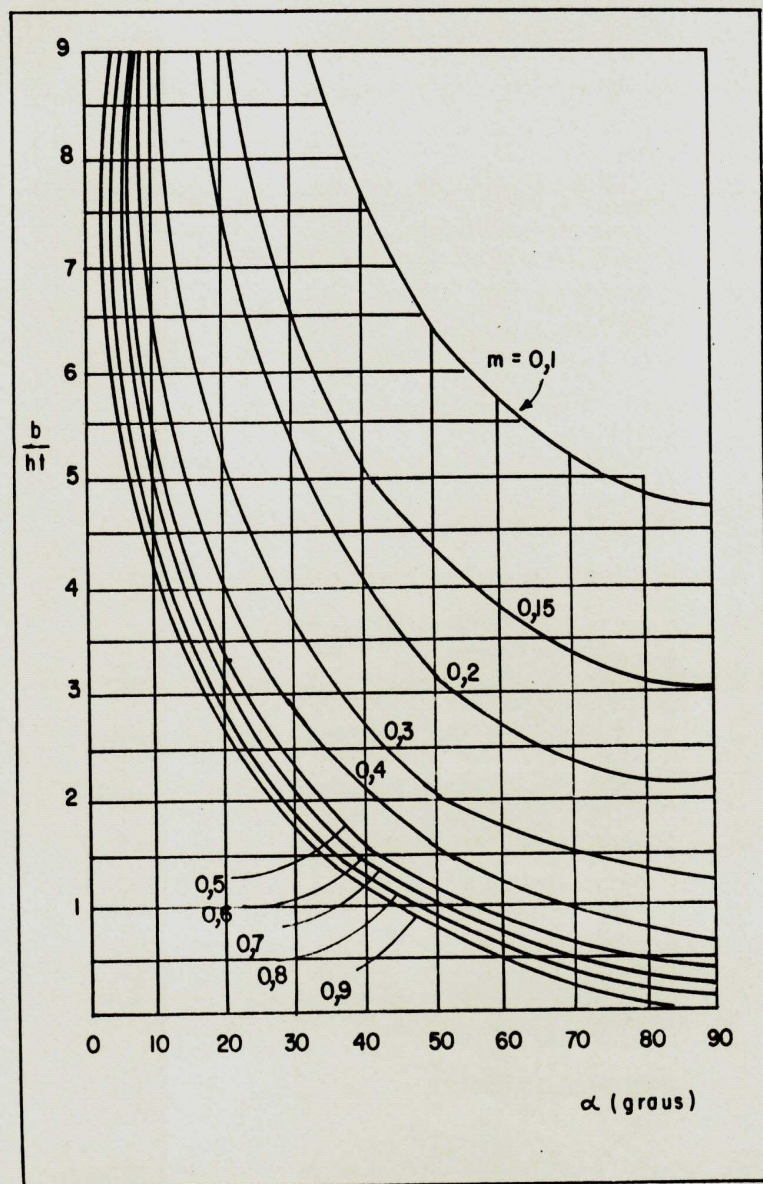


Figura 4 - Mostra o gráfico para a determinação da saída da linha freática no talude de jusante segundo L.Casagrande.

BARRAGEM POCINHOS

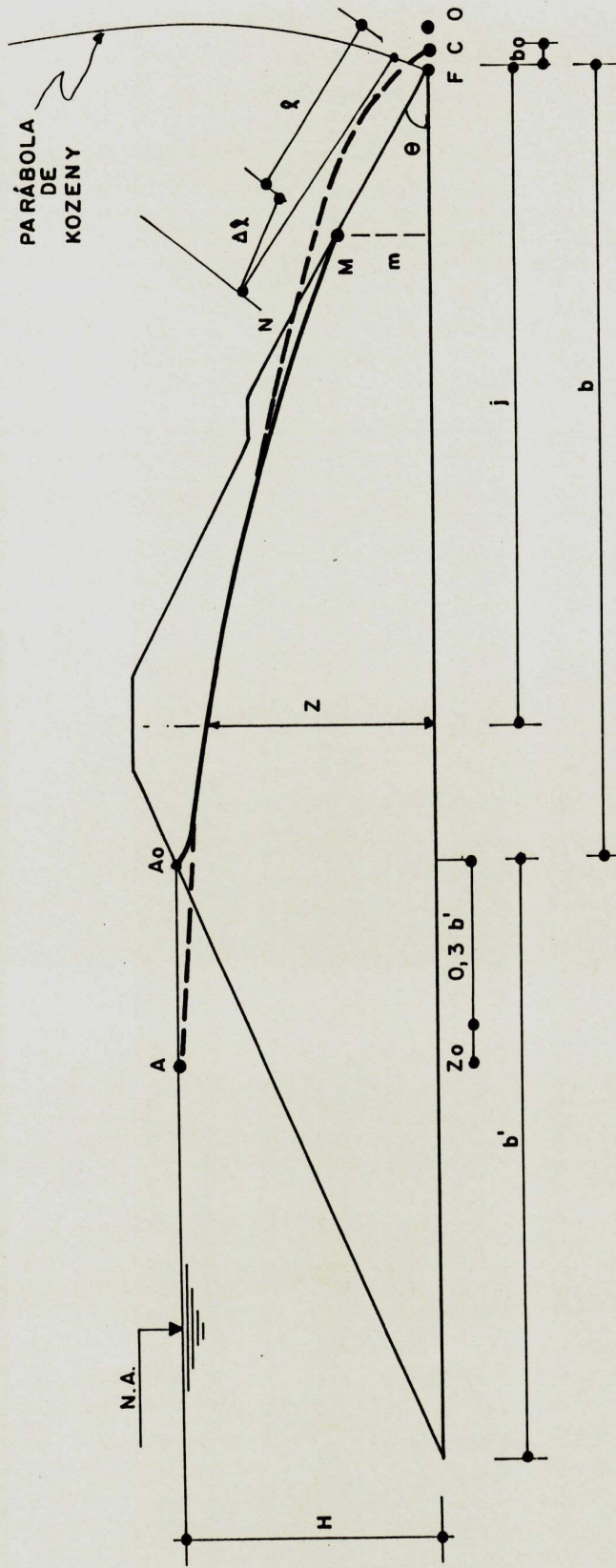


FIGURA 5 : Mostra a parábola de Kozeny para determinação do local da saída da linha freática.

H = altura do nível da água;

θ = ângulo do talude jusante.

Para talude com ângulo maior que 30° graus usa-se a fórmula:

$$L = Z_0 \frac{1 - a}{1 - \cos \theta}$$

onde:

$Z_0 = 2 b_0$;

$b_0 =$ distancia \overline{FC} ;

$a =$ calculado, através do gráfico da

Figura 6.

Uma barragem com filtro de areia, sendo uma camada permeável, é solução adequada para o rebaixamento da linha freática, corrigindo desta forma a saída da água e afastando-a consideravelmente da superfície do talude jusante, (Vargas 1977).

Conforme foi notado quanto à posição da linha freática em barragens de terra com solo homogêneo, conclui-se que se deve usar um filtro permeável para facilitar o escoamento da água no maciço da barragem sem provocar ruptura.

Segundo Esteves (1964), o material constituinte do filtro deve ser suficientemente fino para que se evite o carreamento de partículas do solo através dele; por outro lado, deve ter granulometria grossa para que as forças de percolação desenvolvidas no seu inte-

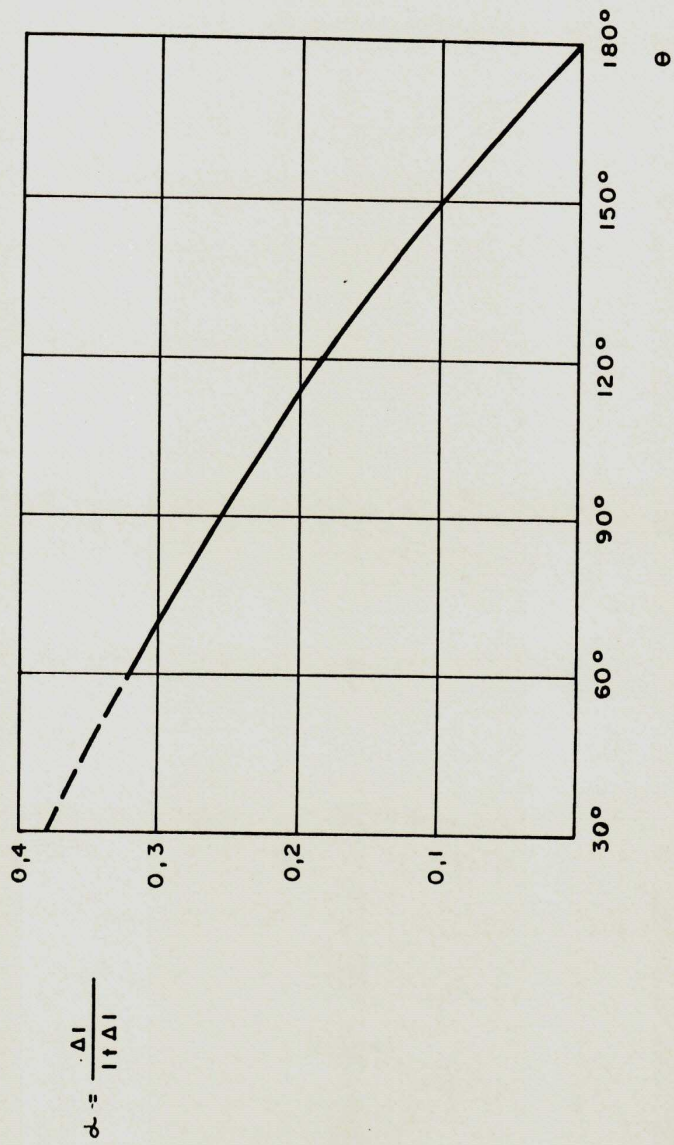


FIGURA 6 — MOSTRA O GRÁFICO PARA DETERMINAÇÃO DO PONTO M, CONFORME PARÁBOLA DE KOZENY

rior sejam pequenas.

26

Tem sido estabelecidos vários critérios de projetos de filtros, para atender aos seus requisitos. Os estudos de Terzaghi e Bertram permitiram o estabelecimento de certas regras que podem assumir a seguinte forma:

$$- \frac{D_{15} \text{ filtro}}{D_{15} \text{ base}} = 5 \text{ à } 40$$

$$- \frac{D_{15} \text{ filtro}}{D_{85} \text{ base}} < \text{ ou } = 5$$

$$- \frac{D_{85} \text{ filtro}}{\emptyset \text{ do tubo}} > \text{ ou } = 2$$

- A curva granulométrica do material do filtro deve ser aproximadamente paralela à do material da base.
- o filtro não deve conter mais do que 5 % de material mais fino que $\emptyset,074$ (peneira 200).

As condições locais e o tipo do material disponível determinam o tipo do filtro a ser utilizado nas barragens.

Nas barragens de terra de pequeno e médio porte, usam-se além do tradicional filtro tipo tapete, **Figura 1 do Anexo 1**, filtros tipo chaminée vertical ou inclinado, **Figura 2 do Anexo 1**, sendo o escoamento assegurado por tapetes permeáveis ou tubos de descarga. Outro tipo de filtro é feito com a construção de um

27

dreno de pé **Figura 18 do Anexo 1**, muitas vezes apresenta-se alturas acima do terreno natural, que atinge 15 a 35 % da altura total do maciço.

2.2.6. Movimentos de Massa.

O escorregamento de uma massa de terra é atribuído à qualquer deslocamento rápido de uma parte de um talude e, sob a ação do seu próprio peso, cujo centro de gravidade do maciço em movimento, avança numa direção orientada para fora e para baixo provocando sua separação do restante do maciço. Este fenômeno é acionado através de agentes ou causas internas e externas que provocam fissuramento e, conseqüentemente, a ruptura do mesmo.

2.2.6.1. Causas de Escorregamento

A maioria dos colápsos de taludes são acionados durante chuvas excepcionalmente fortes, Newland (1916).

Segundo Souza (1980), Guidicini & Nieble (1976) classificam os agentes de movimentos de massa em :

- PREDISPOANTES - constituem o conjunto de características decorrentes das condições naturais, como complexos geomorfológicos e climático-hidrologicos;

- EFETIVOS - exercem ação direta sobre o movimento da massa, como a água, forças tectônicas, força da gravidade e o homem.

Terzaghi (1950), Shuster & Krizek (1978), acham que as causas de escorregamentos são de três tipos:

i) INTERNAS - provocam os escorregamentos sem a ocorrência de modificações prévias na geometria do maciço, tais como o aumento das poro-pressões e declínio da coesão. São devidas as mudanças do regime hídrico dos maciços;

ii) EXTERNAS- associadas às modificações da geometria dos maciços como as vibrações de abalos sísmicos, ação de sobrecargas e mudanças de declive;

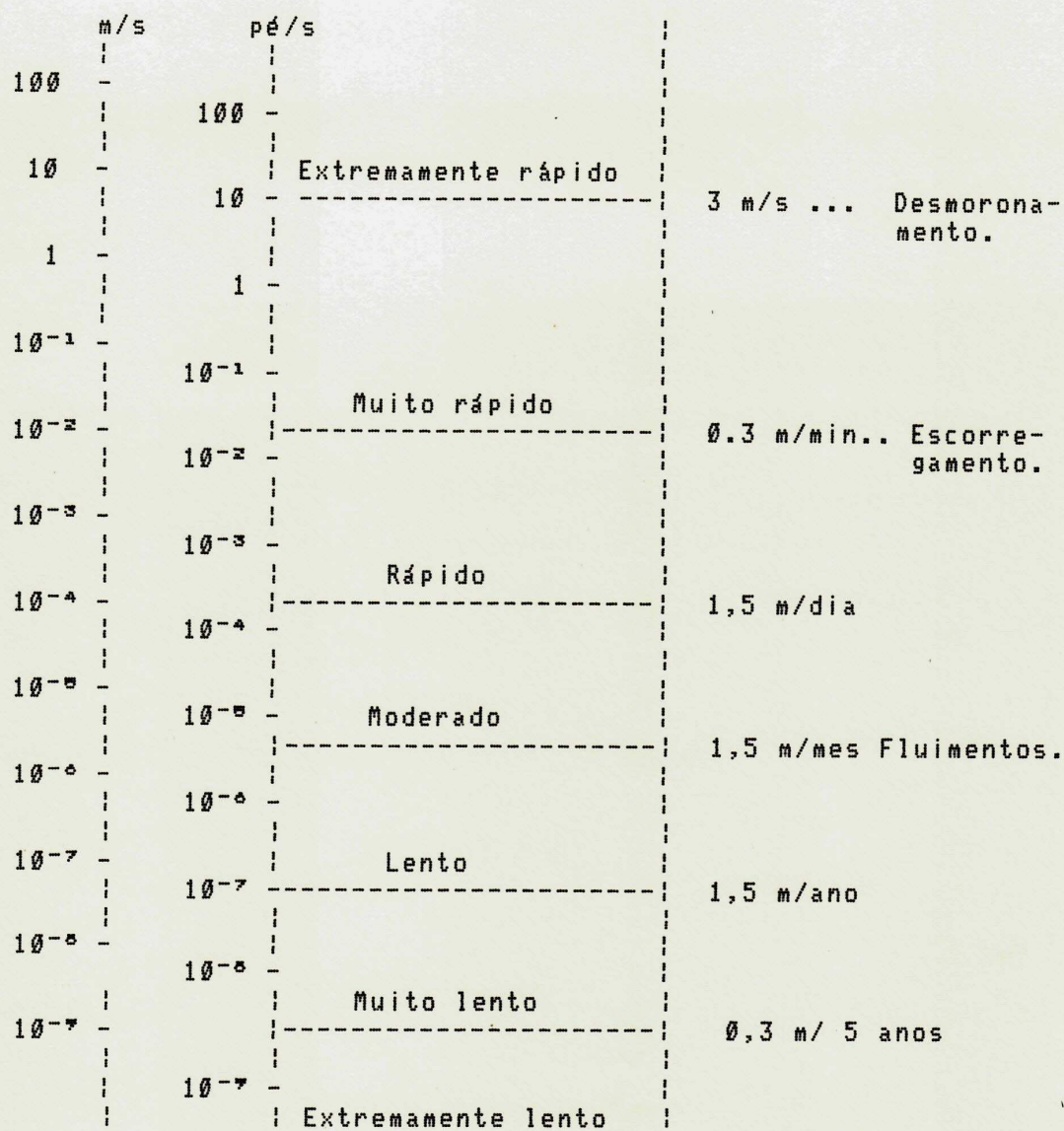
iii) INTERMEDIARIAS - relacionadas à ação da água no interior do maciço ou efeitos de agentes mecânicos, como a liquefação espontânea, erosão subterrânea (piping), oscilações súbitas do lençol freático e diminuição do efeito da coesão aparente.

Segundo Silva (1986) Alexis & Sanna (1974), o fundo geológico, onde há existência de falhas, com a instalação de uma rede de percolação interna, causa deslizamentos rápidos e catastróficos.

Segundo Caputo (1983), os taludes de terra compactados, construídos sobre camadas de fraca resistência, rompem-se por tração, ao invés de seguirem uma possível superfície de deslizamento teórica, podendo alcançar grandes profundidades.

2.2.6.2. Classificação

Segundo Guidicini & Nieble (1976), foram elaborados vários sistemas de classificações para os movimentos de terra, entre os quais podem ser mencionados os trabalhos de BALTZER (1875), HEIM (1882), TERZAGHI (1925) e VARNES (1958). Este elaborou uma escala de velocidade, conforme descrito no **Quadro 1**.



Q U A D R O - 1 Classificações dos Movimentos de massa usando o critério de Velocidade Varnes, In: Guidicini & Nieble, (1976).

Entre outros são mencionados os trabalhos de Barata (1969), que fez modificação na classificação de Varnes (1976), o de Costa Nunes (1969) e o de Vargas (1966), todos referentes à solos de regiões úmidas, tropicais e sub-tropicais.

Há também o trabalho de Freire (1965), distinguindo os seguintes tipos principais de movimentos de massa:

- escoamento;
- subsidências;
- escorregamentos;
- movimentos complexos.

Varnes (1976), após revisão da sua classificação apresentada em 1958, propôs as seguintes denominações:

- | | | |
|-----------------|---|------------------------|
| falls | - | quedas |
| topples | - | tombamento de blocos |
| sliding | - | deslizamentos |
| lateral Spreads | - | deslocamentos laterais |
| complex | - | movimentos complexos |

2.2.6.3. Combate ao Escorregamento

Segundo Terzaghi (1967), o primeiro passo para prevenir-se contra os efeitos de escorregamentos de massa nos taludes de barragens de terra é tomar todas as medidas cabíveis para minimizar os processos susceptíveis aos colápsos que frequentemente tem ocorrido, tais como:

- a elevação do nível piezométrico através do talude, em conexão com o deslocamento de ar durante chuvas fortes, pode ser reduzida pelo revestimento do talude, por uma camada, além da crista com material de baixa permeabilidade, como também com plantação de grama no talude de jusante;

- a formação de fendas de contração de maior profundidade pode ser evitada cobrindo o talude com grama ou então com uma camada de areia;

- o perigo de liquefação espontânea poderá ser evitado por meio de compactação adequada do material. Terzaghi (1958);

- o perigo da erosão subterrânea (piping) pode ser eliminado por meio de um dreno invertido ou então por drenagem adequada. Terzaghi & Peck (1962);

- Pode-se usar dispositivos para aumentar o caminho de percolação.

2.2.7. Estabilidade de Taludes de Barragens de Terra.

O problema da estabilidade de taludes de barragens de terra consiste fundamentalmente em verificar se ele é estável ou não, através da determinação de um fator de segurança mínimo à ruptura por cisalhamento de uma parte do maciço, segundo uma linha potencial de escorregamento.

Um talude é estável quando as forças ativas que tendem a produzir estes movimentos são inferiores às forças passivas que são essencialmente forças de resistência ao cisalhamento, estabelecida pela equação:

$$TC = C + TN \times \operatorname{tg} \emptyset$$

onde:

TC = tensão de cisalhamento;

C = coesão do solo;

TN = tensão normal;

\emptyset = ângulo de atrito interno do solo.

2.2.7.1. Fator de Segurança

O fator de segurança é uma relação entre grandezas que ocorreriam na ruptura e grandezas necessárias ao equilíbrio do talude.

Pode ser definido da maneira mais diversificada. Alguns autores o definem como sendo o quociente da coesão disponível "C" com a coesão mobilizada "C_m".

$$F_c = \frac{C}{C_m}$$

Outros o definem como sendo o quociente do valor do parâmetro tg ϕ disponível com o mesmo parâmetro mobilizado, tg ϕ_m .

$$F = \frac{\text{tg } \phi}{\text{tg } \phi_m}$$

As principais relações, portanto, são aquelas envolvendo a coesão do solo, o ângulo de atrito interno e os esforços ao longo da superfície potencial de ruptura.

Evidentemente é preciso pesquisar várias superfícies potenciais de ruptura até definir a que fornece o menor valor do fator de segurança F.

Segundo Vargas (1977), o cálculo da estabilidade de taludes de terra consiste na determinação do ângulo de talude sob o qual, nas condições peculiares do talude e, levando em conta a influência de tensões neutras provenientes da submersão, percolação da água, adensamento ou deformações de cisalhamento, o talude mantém-se em equilíbrio plástico. Isto se

dará se em todos os pontos do maciço taludado as tensões de cisalhamento igualarem às resistências ao cisalhamento. O talude existente será considerado estável se o seu ângulo real de inclinação for menor, dentro de uma certa segurança, que o ângulo do talude de equilíbrio calculado.

Os taludes de terra não estáveis deslizarão ao longo de superfícies de ruptura. Segundo Fellenius (1936), nos maciços de solos coesivos, as superfícies de ruptura não são planas. Quando o ângulo de inclinação do talude é inferior ao ângulo de atrito interno θ , as superfícies de ruptura aprofundam-se indefinidamente. Quando o ângulo de inclinação é muito forte, maior do que θ , a ruptura ocorre ao longo de superfícies curvas.

Estudos feitos na Suécia, com relação a vários escorregamentos, cujos resultados foram utilizados por Fellenius, mostraram que as superfícies de ruptura observadas se aproximavam bastante de circulares.

2.2.7.2. Situações Críticas.

Segundo Esteves (1964), uma barragem de terra ficará sujeita, durante a fase de construção e em período de operação, à situações típicas que necessitam analisar a sua estabilidade e determinar o coeficiente

de segurança à ruptura por cisalhamento.

i - fase de construção.

Durante a construção de uma barragem de terra à medida que as camadas de solo vão sendo colocadas e compactadas, a tensão total, à um dado nível, vai aumentando, desenvolvendo-se paralelamente tensões neutras, devido à compressibilidade do aterro e ao seu baixo coeficiente de permeabilidade. Neste caso analisa-se o coeficiente de segurança em termos de tensões totais, sendo o valor de C e \emptyset , obtidos em ensaios não adensados e não drenados (ensaio UU).

ii - fase de reservatório cheio.

Quando o reservatório é cheio, estabelecem-se correntes de percolação constituindo progressivamente a rede de fluxo. Nestes casos as verificações da estabilidade devem ser efetuadas em termos de tensões efetivas, sendo os valores de C' e de \emptyset' obtidos em ensaios adensados e drenados (ensaio CD).

iii - fase de esvaziamento rápido.

Neste caso corresponde uma situação crítica para o maciço de montante. No instante do esvaziamento, o paramento de montante deixa de ser equipotencial, passando à superfície livre. Nesta fase analisa-se a estabilidade, também em termos de tensões efetivas, através de ensaios triaxiais consolidados e não drenados com medidas de pressão neutra (ensaio CU).

2.2.7.3. Parâmetros B e A no solo.

Segundo Vargas (1977), na compressão do cilindro de argila em ensaio triaxial, não permitindo a drenagem intersticial, em lugar do adensamento do corpo de prova, surge o aparecimento de tensões neutras na água intersticial. Com efeito, sendo o corpo de prova sujeito a um acréscimo de pressão axial $\Delta \sigma_1$, maior e diferente do acréscimo de pressão radial $\Delta \sigma_3$, haverá uma compressão axial do corpo de prova simultânea com uma expansão radial (o corpo de prova diminui de altura e aumenta de diâmetro). Essa deformação corresponde à uma deformação dos poros do solo, a qual comprime a água e faz aparecer as tensões neutras. É a forma de indução de tensões neutras, chamada por "deformação dos poros".

Sabe-se, pela teoria da elasticidade, que um corpo cilíndrico de volume V , comprimido axialmente por uma tensão efetiva axial $\Delta \sigma_1'$, e confinado radialmente por uma tensão $\Delta \sigma_3'$, sofre um decréscimo de volume, ΔV , igual à:

$$-\Delta V = V \frac{(1-2 \nu)}{E} (\Delta \sigma_1' + 2 \Delta \sigma_3')$$

$$C_s = \frac{3(1-2 \nu)}{E}$$

C_s é o coeficiente de compressibilidade volumétrica do esqueleto sólido do solo. Por outro lado, a deformação do volume dos poros cheios de um fluido (água e ar em bolhas ou dissolvido), de coeficiente de compressibilidade C_w , a ação da tensão neutra Δu , será:

$$-\Delta V = nV.C_w.\Delta u$$

onde:

n é a porosidade do solo.

Como os dois devem ser iguais,

então,

$$n C_w . \Delta u = \frac{C_s}{3} (\Delta \sigma_1' + 2 \Delta \sigma_3')$$

Colocando a equação acima em termos de tensões totais, ter-se-á para a tensão neutra procurada o valor.

$$\Delta u = \frac{1}{1+n} \left[\frac{C_w}{C_s} \Delta \sigma_3 + \frac{1}{3} (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \right]$$

Skempton (1954), colocou essa fórmula sob a seguinte forma:

$$\Delta u = B \{ \Delta \sigma_3 + A (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \}$$

O coeficiente $B = \frac{1}{1+n} \frac{C_w}{C_s}$, corresponderia à

compressão isotrópica do solo quando $\Delta \sigma_1 = \Delta \sigma_3$.

Para os solos completamente saturados com água, a relação $\frac{C_w}{C_s} = 1$ e portanto $B = 1$.

Para os solos não saturados, $\frac{C_w}{C_s} \Rightarrow \infty$, portanto, $B \Rightarrow 0$.

O coeficiente A, num solo saturado, seria o que introduziria o efeito de compressão da água intersticial por deformação dos poros do solo decorrente da diferença de tensões $\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3$.

O valor de A pela teoria acima é $\frac{1}{3}$, porém experimentalmente ela varia com o tipo de argila. Seu valor é:

> 1, para as argilas moles;

0,5 à 1, para as argilas normalmente adensadas;

$\emptyset,25$ à $\emptyset,5$, para as argilas pré-adensadas;
 \emptyset à $\emptyset,25$, para as argilas fortemente adensadas.

2.2.7.4. Métodos de Análises de Estabilidade de Taludes

A análise de estabilidade de taludes de terra pode ser feita por diferentes métodos e separados em dois grandes grupos:

- métodos de análises em tensões-deformações;
- métodos de análises de equilíbrio limite.

2.2.7.5. Métodos de Análise de Estabilidade em Tensões-Deformações

Esses métodos analisam o estado de tensão-deformação no interior do maciço, com a utilização dos elementos finitos.

Determina a distribuição das tensões e deformações em todo o maciço a ser analisado.

A intensidade e a direção das tensões variam em cada ponto, no interior do maciço, e o conjunto dessas variações permite analisar exatamente o comportamento do talude e detectar zonas de cisalhamento e rup-

turas progressivas.

Nas análises de taludes pelo método das tensões e deformações, a maior dificuldade reside no conhecimento das leis de comportamento real do solo e de suas implementações dentro da análise.

2.2.7.6. Métodos de Equilíbrio Limite, não considerando fatias.

Esses métodos não fornecem informações sobre zonas de ruptura localizadas. Eles consideram uma massa de solo que desliza ao longo de uma superfície de ruptura.

Todos os métodos de equilíbrio limite baseiam-se nas hipóteses de que não há ruptura progressiva, mas sim, ruptura que ocorre simultaneamente em todos os pontos da superfície potencial de deslizamento.

Há uma grande quantidade de métodos de análise de estabilidade de taludes que consideram a massa deslizante como um todo. A seguir são apresentados os métodos mais utilizados.

Método de Culmann

Este método supõe que a superfície potencial de escorregamento é plana e passa pelo pé do talude. A

aplicação deste método restringe-se à solos homogêneos e muito íngremes, de características geotécnicas, C , θ e γ , conforme mostra a **Figura 7**. O coeficiente de segurança calculado é $F_c = \frac{C}{C_n}$, relativo à coesão

do solo, Caputo (1983),

onde:

$$N = \frac{C}{g.H}, \text{ número de estabilidade;}$$

$$K = \frac{1 - \cos(i - \theta)}{4 \sin i \cos \theta}$$

Método do Círculo de Atrito

Segundo Souza (1980) este método foi instituído por G. Gilboy e A. Casagrande e posteriormente desenvolvido por Taylor (1937). É aplicável à taludes homogêneos e supõe-se que a ruptura ocorre segundo uma superfície potencial de deslizamento circular. É adequado tanto para análises de tensões totais como efetivas. A **Figura 8**, mostra a representação dos parâmetros para a determinação do coeficiente de segurança, onde:

W = peso do bloco deslizante hipotético;

U = resultante das poro-pressões;

R_i = resultante de U e de W ($R_i = U + W$);

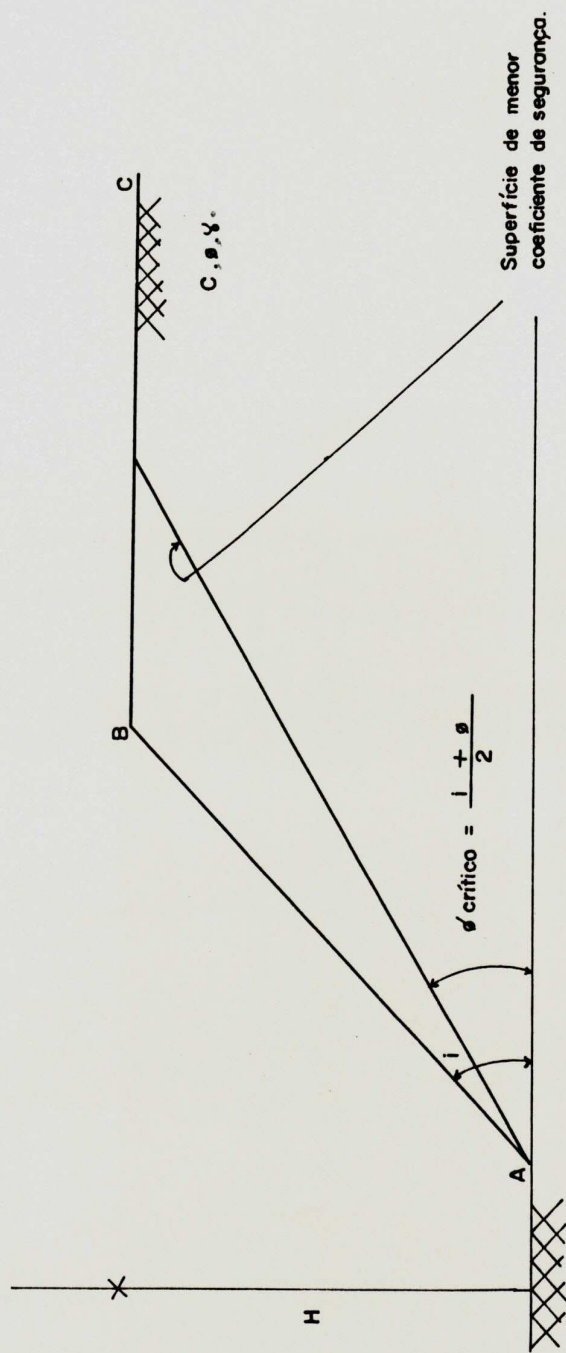


Figura 7 – Mostra a característica do perfil do talude, método de Culman.

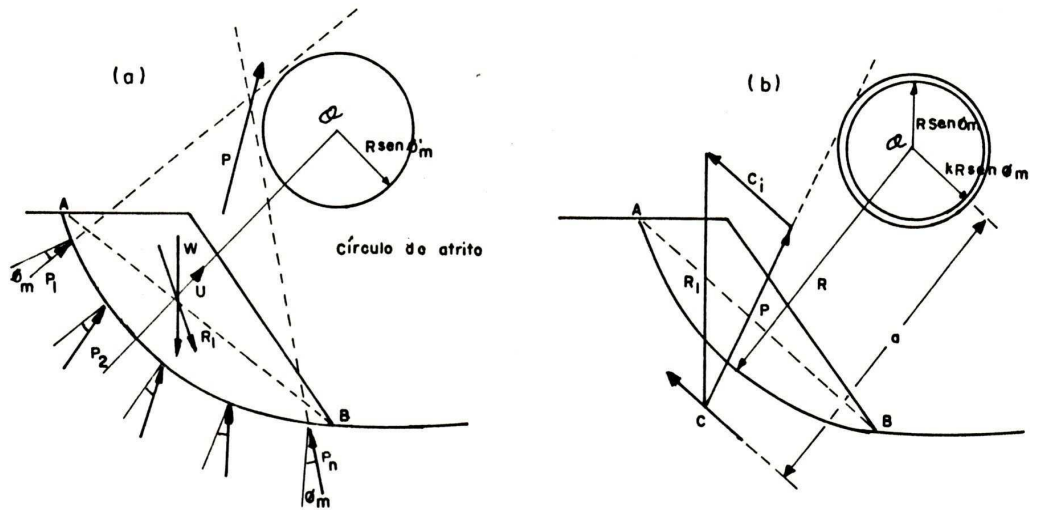


FIGURA 8 — Representação das forças consideradas para o equilíbrio de um talude no método do círculo de atrito.

- P_i = resultante das forças de atrito com a força normal ($P_i = f_a + N$), tangente do círculo de atrito, de raio ($R \times \sin \theta_m$);
 P = resultante das forças P_i ($P = \sum P_i$), tangente do círculo de raio $K \times R \times \sin \theta_m$;
 L = comprimento do arco AB;
 L_i = comprimento da corda AB;
 C = força resistente total ($C = c \times L_i$), paralela à corda AB;
 R = raio do círculo de ruptura;
 a = distância entre a resultante C e o centro comum (o) dos círculos concêntricos.

Método de Collin

Segundo Souza (1980), o método foi desenvolvido por Collin (1840), um dos primeiros processos de estabilidade de taludes. Apresenta características que até hoje são utilizadas em quase todos os procedimentos modernos.

Collin propôs que fôsse determinada uma força D , necessária para manter estável o talude, conforme mostra a **Figura 9**, sendo:

$$D = W \cdot \sin \alpha - S \cdot L$$

Wright (1969), considerando que a maioria dos taludes não são suportados por forças externas, achou

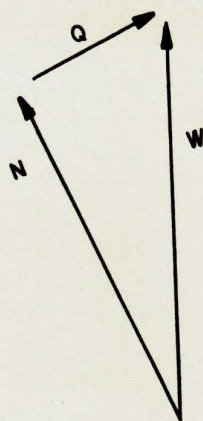
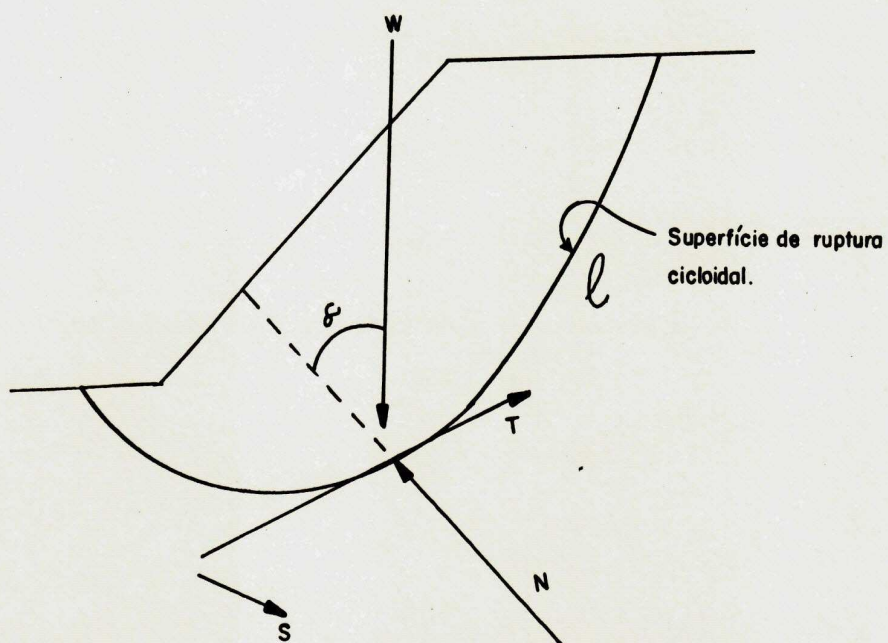


Figura 9 – Mostra a representação das forças para o equilíbrio de um talude método de Collin.

mais conveniente reescrever a equação de Collin de forma a se calcular a resistência necessária ao equilíbrio.

$$S = \frac{W \operatorname{sen} \alpha}{L}, \text{ onde:}$$

Q = força necessária ao equilíbrio do talude;

W = peso da massa potencial de deslizamento;

T = força cisalhante ao longo do arco L, necessária ao equilíbrio (T = SL);

S = resistência ao cisalhamento mobilizada ao longo de L (parcela da resistência não drenada);

Su = resistência não drenada do solo;

L = comprimento do arco cicloidal;

α = ângulo entre a normal e o peso W.

Collin já salientava a necessidade de se pesquisar a posição da superfície crítica de ruptura.

O fator de segurança neste método, com a modificação proposta por Wright seria dado pela relação entre a resistência não drenada do solo e a resistência calculada pela expressão dada por Wright,

$$F = \frac{S_u}{S}$$

Método da Espiral Logarítmica

Segundo Souza, (1980), este método foi instituído por Rendulic (1935). O objetivo foi conseguir uma força idealizada para a superfície de ruptura capaz de atender ao equilíbrio estático da massa potencial de deslizamento, Taylor (1937).

O fundamento deste método é que a superfície de ruptura é uma espiral logarítmica. Em qualquer de seus pontos, o raio vetor forma um ângulo constante com a normal, nesse ponto. Esse ângulo é considerado com um valor igual ao do atrito mobilizado do solo conforme **Figura 10**.

onde:

r_i = raio calculado;

r_0 = raio de referencia ($\theta = 0$);

θ_i = ângulo entre r_0 e r_i ;

θ_m = ângulo de atrito mobilizado, primeiro valor arbitrado;

P_i = resultante da força normal e da força de atrito em um ponto qualquer da curva.

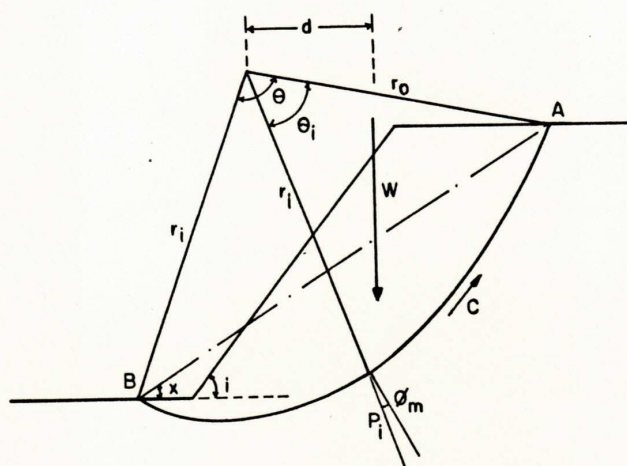


Figura 10- Representação das forças consideradas para o equilíbrio de um talude no método da espiral logarítmica.

O coeficiente de segurança F, é calculado como:

$$F = \frac{\text{momento resistente}}{\text{momento motor}} = \frac{M_r}{W.d}$$

$$M_r = \frac{C}{2 \operatorname{tg} \theta_m} \cdot (r_i^2 - r_o^2).$$

$$F = \frac{C / 2 \operatorname{tg} \theta_m \cdot (r_i^2 - r_o^2)}{W.d}$$

2.2.7.7. Métodos que consideram Fatias

Estes métodos de análise da estabilidade de taludes de terra, consideram a massa de deslizamento como dividida em fatias verticais, sendo que o equilíbrio do sistema é verificado em função de cada fatia pela aplicação das equações de equilíbrio sobre elas, conforme **Figura 11.**

onde:

W = peso da fatia;

N = força normal à base da fatia;

E = força horizontal nas laterais de uma fatia;

X = força de cisalhamento entre fatias;

Q = resultante das forças laterais;

θ = ângulo de inclinação da resultante R;

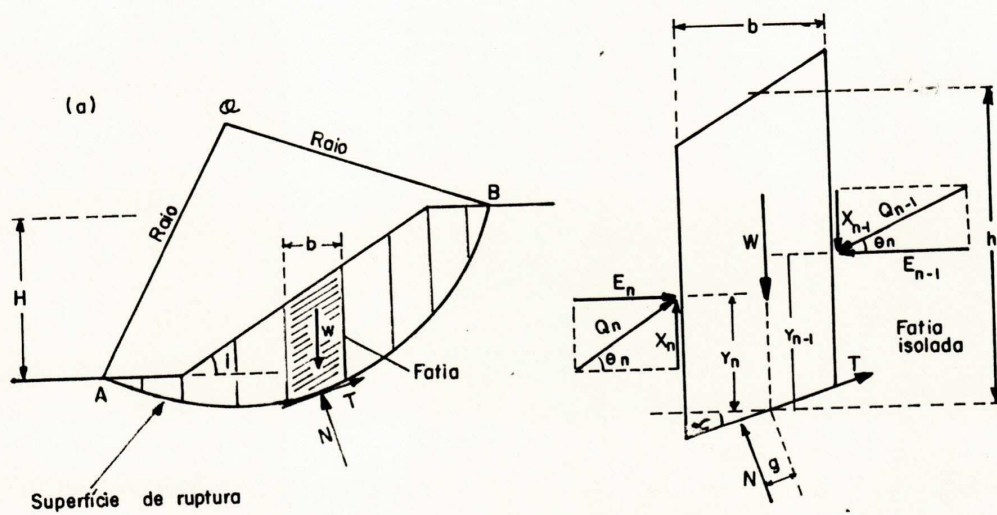


Figura 11 : a) Fatias verticais hipotéticas.
b) Fôrças atuantes numa fatia isolada.

- y = ordenadas das forças E;
- T = forças de coesão do solo;
- g = distância de N ao cêntro da fatia;
- b = largura da fatia.

O método de fatias foi propôsto por Petterson (1916), desenvolvido por Fellénius (1936) e posteriormente modificado por Bishop (1954). Foi possível obter-se resultados com aproximações aceitáveis ao se estudar a estabilidade de taludes heterogêneos constituídos por camadas de solos com coesão C' , e ângulo de atrito θ' .

Este método supõe que a ruptura ocorre ao longo de uma superfície potencial de deslizamento contínua. Para cada linha potencial de ruptura será calculado o coeficiente de segurança F.

As hipóteses básicas comuns à cada método das fatias são as seguintes:

- a tensão de cisalhamento mobilizada que deve ser equilibrada na base da fatia em toda a extensão da superfície potencial de deslizamento, é dada pela expressão do critério de ruptura de Mohr-Coulomb;
- a massa de solo rompida se comporta durante o deslizamento como um corpo rígido;
- as propriedades de resistência ao cisalhamento são isotrópicas;

- o princípio das tensões efetivas de Terzaghi, $TN = TN' + u$ é válido.

Método de Fellenius

Foi o primeiro método a considerar a divisão da massa deslizando em fatias verticais com finalidade de analisar a estabilidade de taludes de terra, Fellenius (1927).

Trabalhando com superfícies circulares de ruptura e adotando a suposição mencionada acima, ele estabeleceu o método de análise conhecido hoje como método ordinário das fatias.

A hipótese fundamental do método consiste simplesmente em não considerar as forças inter-fatias nas equações de equilíbrio estático de cada fatia, que é o mesmo que considerá-las nulas (ou que a resultantes dos esforços entre fatias tenha direção paralela à base da fatia). Essa hipótese, entretanto, faz com que não sejam satisfeitas as condições de equilíbrio para cada fatia (com exceção das superfícies de ruptura planas), tanto de forças como de momentos, Wright (1969).

O equilíbrio geral de momento e o equilíbrio de forças estabelecido na direção normal à base das fa-

tias individuais, são suficientes para a dedução da fórmula do fator de segurança.

$$F = \frac{\sum [c_i' \cdot l_i + (w_i \cdot \cos \alpha_i - u_i \cdot l_i) \operatorname{tg} \theta']}{\sum W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

A representação das forças por este método é mostrada na **Figura 12**, onde:

$$\begin{aligned} N'_i &= N_i - u_i \\ &= w_i \cos \alpha_i - u_i \cdot l_i \end{aligned}$$

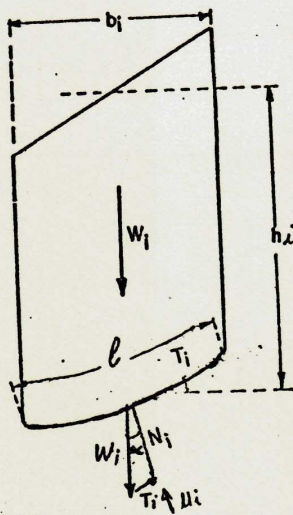
Método de Bishop

O método de Bishop proposto em (1952) faz a análise da estabilidade de uma cunha de escorregamento, dividindo-a em lamelas. Esta divisão já havia sido apresentada por Fellenius (1927).

Tanto o método de Fellenius como o de Bishop levam em consideração a tensão neutra atuante ao longo da superfície de ruptura. A diferença entre os dois métodos consiste em que Bishop (1955) incluiu as forças inter-faixas nas equações de equilíbrio na análise da estabilidade de taludes, supondo que a resultante destas forças atuassem horizontalmente.

Segundo Bishop, a resistência ao cisalhamento mobilizada ao longo da superfície de escorregamento é:

(a) Forças atuantes em uma fatia



(b) Polígono de forças

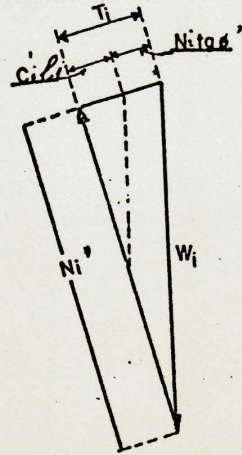


Figura 12 - Representação das forças consideradas para o equilíbrio das fatias no método de Fellenius.

$$T = 1/F [c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \theta']$$

onde:

c' = coesão efetiva;

θ' = ângulo de atrito interno efetivo;

σ = tensão normal atuando ao longo da superfície de ruptura;

u = tensão neutra ao longo da superfície de ruptura.

A **Figura 13** mostra a representação das forças, numa lamela qualquer, pelo método de Bishop (forma geral), onde:

E_n, E_{n+1} = resultante das forças horizontais totais atuantes nas secções n e $n+1$ respectivamente;

X_n, X_{n+1} = forças de cisalhamento vertical;

W_i = peso total da lamela;

N_i = força normal total atuante na base;

T_i = resultante das tensões de cisalhamento atuantes na base;

b_i = largura da lamela;

l = comprimento do arco na base;

α_i = ângulo formado entre a normal e a vertical;

R = raio.

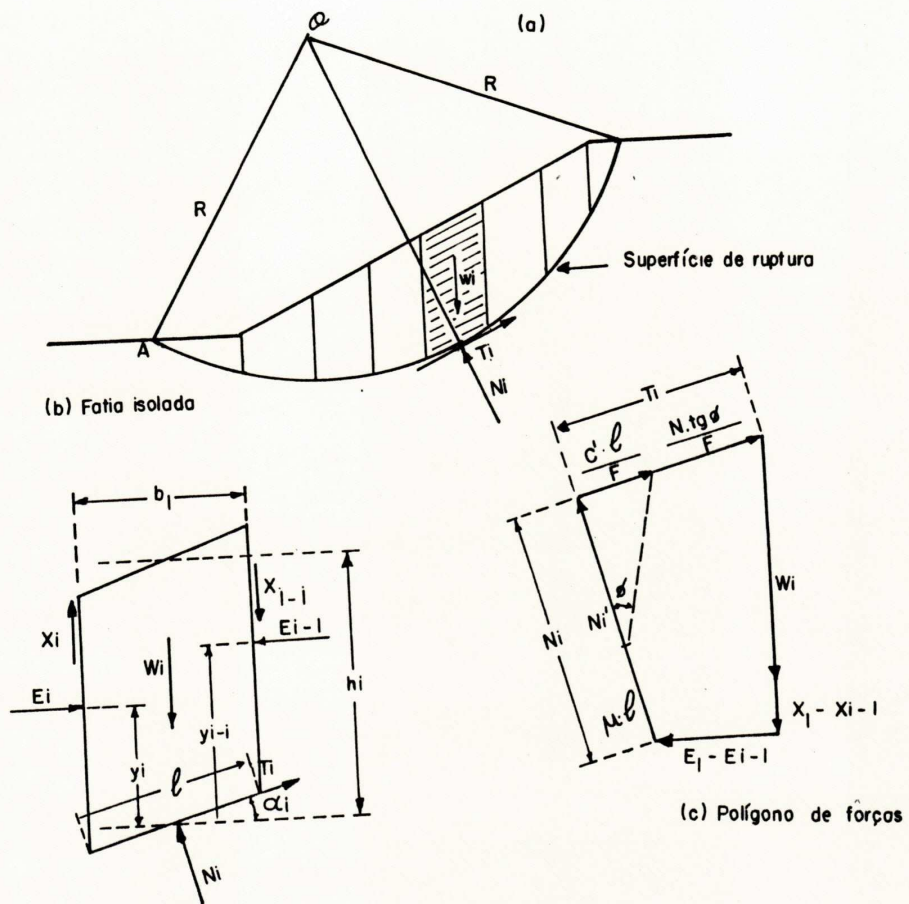


Figura 13 - Representação das forças consideradas para o equilíbrio das fatias no método de BISHOP (forma geral).

O coeficiente de segurança é definido pela relação entre o momento resistente MR e o momento atuante MA., onde:

$$F = \frac{\sum \{ c'.b + [w (1 - \bar{B}) \operatorname{tg} \theta] + X_n - X_{n+1} \}}{\sum w \cdot \operatorname{sen} \alpha}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\operatorname{tg} \alpha \times \operatorname{tg} \theta'}{F}}$$

A análise de estabilidade pela forma geral é muito trabalhosa. Foi verificado que ignorando-se as forças de cisalhamento nas laterais das fatias (ou que a resultante dos esforços entre fatias é horizontal), obtém-se valores, para o fator de segurança, muito próximos dos calculados pela forma geral, sem um grande volume de cálculos. Esta maneira de cálculo é conhecida como Método de Bishop Simplificado, conforme ilustrado na **Figura 13-a**.

Segundo Rogério (1977) a simplificação do método se baseia no equilíbrio das forças verticais para cada fatia e que seja satisfeita a condição: $(X_n - X_{n+1}) = 0$, o qual afeta o valor de F em menos de 1%.

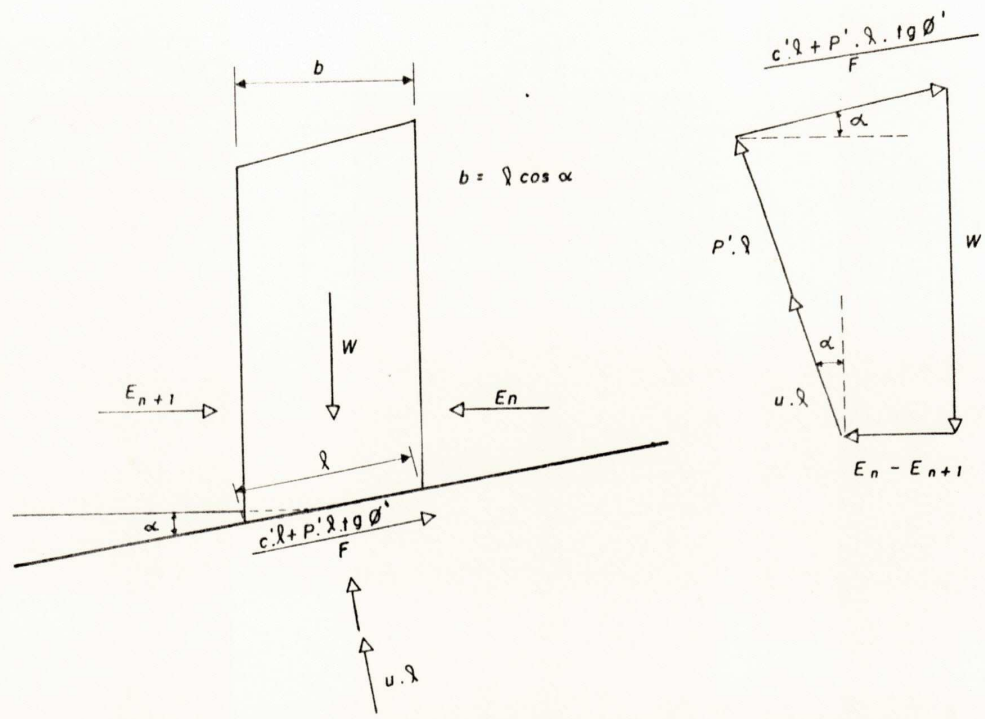


Figura 13.a - Representação das forças consideradas para o equilíbrio das fatias no método de BISHOP (forma simplificada)

O equilíbrio geral de momentos fornece para o coeficiente de segurança F:

$$F = \frac{\sum [c' \cdot b + \operatorname{tg} \theta' (w - u \cdot b)]}{\sum w \cdot \operatorname{sen} \alpha}$$

onde:

$$m \alpha = \cos \alpha \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \theta' \operatorname{tg} \alpha}{F} \right)$$

Método de Spencer

Com base nos estudos sobre o método de Bishop, Spencer introduziu um processo de análise que satisfaz à todas as condições de equilíbrio.

Segundo Souza (1980) a hipótese fundamental é que as forças nas laterais das fatias são paralelas entre si, Spencer (1967). Para cada fatia considera-se uma resultante R dessas forças, a qual atua no centro da base da fatia e forma com a horizontal um ângulo de inclinação constante (α).

A expressão para o cálculo dessa resultante em cada fatia foi obtida mediante o estabelecimento do equilíbrio das forças atuantes sobre ela, nas direções normal e paralela à base.

Método de Morgenstern e Price

A hipótese fundamental deste método é que existe uma relação entre as forças atuantes nas laterais das fatias, em termos de uma função e de um coeficiente de proporcionalidade.

Este método fornece valores para o fator de segurança de um talude, próximos àqueles calculados pelo método de Bishop simplificado, segundo Moraes Junior (1975). A sua desvantagem é ser muito laborioso, sendo seu uso viável somente através de computador.

2.3. Conclusões.

As considerações apresentadas neste capítulo são gerais e, sendo somente assim, informativas.

Segundo Moraes Junior (1975), quanto maior a influência da tensão neutra, mais importante se torna escolher o método de Bishop simplificado, preterindo-se o método de Fellenius. Para superfície qualquer deve-se utilizar o método de Morgenstern e Price, pois esse fornecerá, inclusive a linha de ação da resultante entre fatias, e os fatores de segurança para o equilíbrio vertical para cada fatia.

C A P Í T U L O I I I

3. M A T E R I A I S E M E T O D O S

3.1. I n t r o d u ç ã o .

Apresenta-se neste capítulo os materiais e métodos utilizados nesta pesquisa, assim como as características das barragens selecionadas para estudo.

Os materiais são amostras de solos provenientes de 20 (vinte) barragens de terra, selecionadas entre as barragens construídas no estado da Paraíba. Estão incluídos os dados relativos às suas caracterizações e propriedades de engenharia, obtidos nos projetos executivos das referidas barragens, os quais foram obtidas junto à Secretaria de Recursos Hídricos do estado da Paraíba.

3.2 M a t e r i a i s .

3.2.1. C a r a c t e r í s t i c a s d a s B a r r a g e m s S e l e c i o n a d a s .

3.2.1.1. L o c a l i z a ç ã o .

Foram selecionadas 20 (vinte) barragens de terra construídas no estado da Paraíba. Os critérios para a seleção foram os de terem os dados do projeto executivo disponíveis e de localizarem-se dentro de diversas micro-regiões, conforme mostra a **Figura 14**.

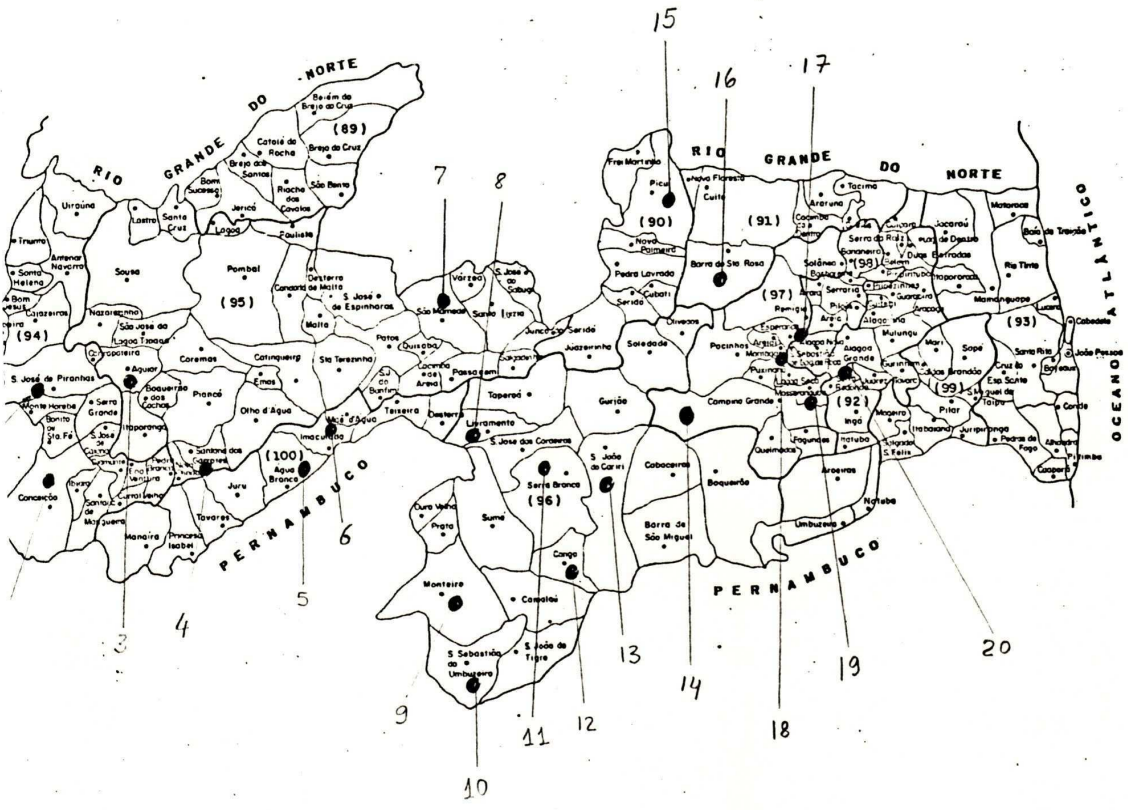


Figura - 14

Mapa do estado da Paraíba (micro-regiões homogêneas), mostrando a localização das barragens selecionadas.

O **Quadro 2** apresenta a relação das barragens selecionadas, com a sua altura máxima, sua largura pela base, nome dos municípios em que estão localizadas e o número da barragem correspondente.

3.2.1.2 Geologia

A geologia do estado da Paraíba está distribuída em quatro principais grupos ou formações de rochas diferentes (gnaisse, granito, mica-xisto e filito), conforme mostra a **Figura 15**, o mapa geológico do estado da Paraíba CDRM (1982).

i). Gnaisse.

São rochas do complexo gnáissico-migmatítico, incluindo calcário cristalino (ca), as quais registram afloramentos, em quase todo o estado da Paraíba. São rochas do pré-cambriano indiviso. Na sua estrutura apresenta feldspato, quartzo e mica, como principais minerais. Quando esta rocha sofre decomposição, altera-se originando-se argila, fragmentos de quartzo, areias e mica.

BARRAGEM		MUNICIPIO	h (m)	L (m)
No.	NOME			
01	São José	S. José de Piranhas	14,50	68,60
02	S. Vermelha I	Conceição	22,50	131,50
03	Frutuoso II	Aguiar	20,10	96,30
04	Queimadas	Santana dos Garrotes	22,20	114,80
05	Bom Jesus	Água Branca	26,00	120,00
06	Albino	Imaculada	18,00	87,50
07	Martelo	São Mamede	12,60	62,40
08	Salitre	Livramento	13,00	61,60
09	Pocinhos	Monteiro	13,10	66,00
10	Santo Antonio	S.S.do Umbuzeiro	17,50	88,00
11	Serra Branca II	Serra Branca	20,00	102,00
12	Cordeiro	Congo	16,00	76,80
13	Curimatá	São João do Cariri	13,20	60,40
14	Boa Vista	Campina Grande	9,60	60,00
15	Craibeiras	Picuí	16,50	72,00
16	Poleiros	Barra de Santa Rosa	25,00	121,00
17	Araçagi	Esperança	11,30	55,60
18	R. do Emídio	Montadas	12,50	54,00
19	Massaranduba	Massaranduba	25,50	114,40
20	Serra Redonda	Serra Redonda	22,00	98,40

Legenda:

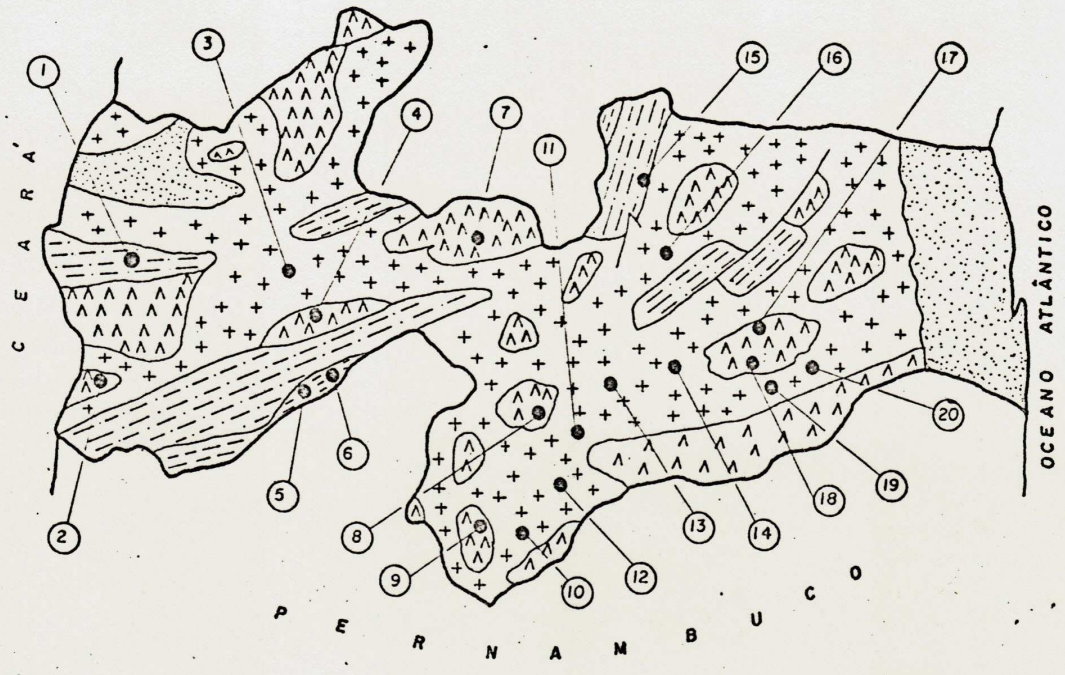
h = altura da barragem

L = largura da base

Quadro 2 - Relação das barragens selecionadas para a pesquisa.








RIO GRANDE DO NORTE



Escala: 1:2.500.000

LEGENDA:

-  ALUVIÕES
-  GNAISSE MIGMATÍTICO (PEGN)
-  GRANITO (PEGR)
-  MICA-XISTO (PEAXE)
-  FILITO (PEACH)



-  LOCALIZAÇÃO DAS BARRAGENS
-  NÚMERO DA BARRAGEM CONFORME QUADRO 2

FIGURA 15 - MAPA GEOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA SEGUNDO CORM - MME (1982)

ii) Granito.

São rochas de granitos, granodioritos, tonalitos e monzonitos da idade pré-cambriana. Na sua estrutura morfológica apresenta feldspato, quartzo e mica como principais minerais, os quais, alterando-se, dão origem à solos compostos de argila, areia e mica.

iii). Mica-xisto

São rochas de mica-xisto com sillimanita e granada e biotita-xisto, localmente feldspatizada, da idade pré-cambriana. Na sua estrutura apresenta micas (muscovita), ou biotita (micas pretas) como principais minerais.

iv) Filito

São rochas de filito, metassiltito e xistos, de baixo grau de metamorfismo, incluindo quartzito e calcário cristalino, do pré-cambriano superior.

3.2.1.3. Clima

De acordo com a classificação de Köppen (1968), na Paraíba foram constatados os seguintes tipos climáticos: A's, Bsh e A'w, distribuídos conforme mostra a **Figura 16**.

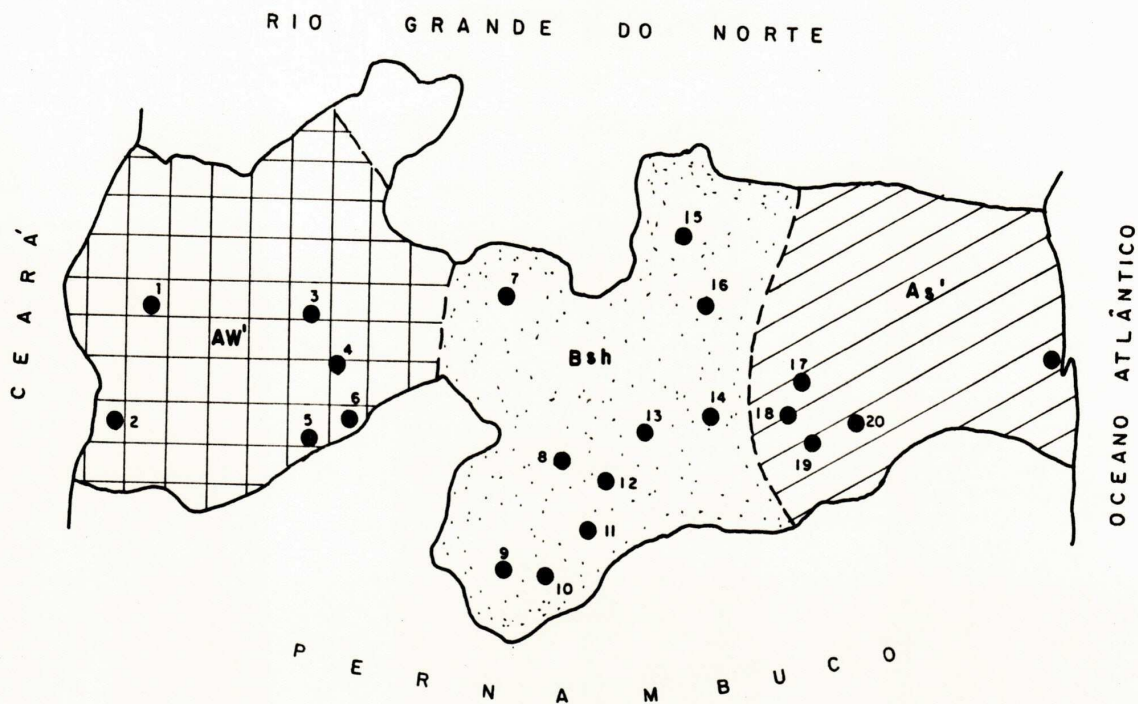
- A's: clima quente e úmido com chuvas de outono à inverno. Ocorre desde o litoral até atingir o planalto da Borborema, em uma extensão aproximada de 100 km.

- Bsh : clima semi-árido quente. Ocorre em toda a superfície do planalto da Borborema. É a área mais seca de todo o estado, com precipitações pluviométricas médias anuais muito baixas e uma estação seca que pode atingir 11 meses, o que caracteriza a região.

- A'w: Clima quente e úmido com chuvas de verão a outono. Ocorre na parte oeste do estado, desde a cidade de Patos até o estado do Ceará.

3.2.1.4. Rede Hidrográfica.

A rede hidrográfica do estado da Paraíba divide-se em quatro principais bacias: bacia do rio Piranhas, bacia do rio Paraíba, bacia do Curimatã e bacia do rio Mamanguape.







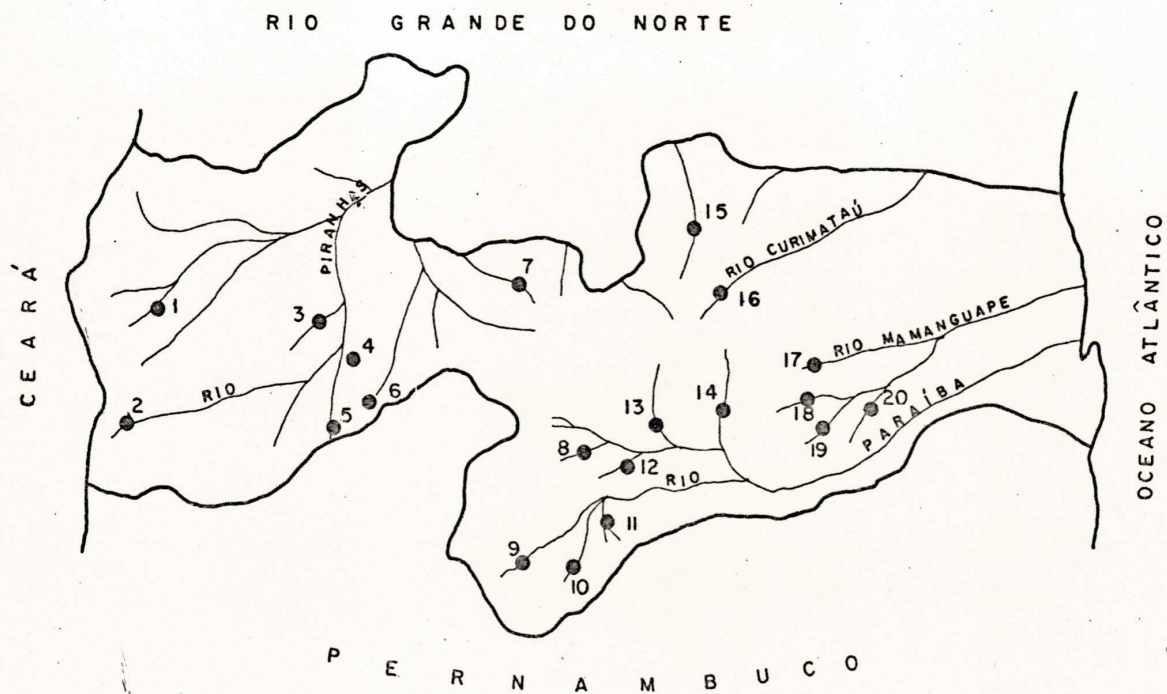
-  AW' — Quente e úmido com chuvas de verão a outono
-  Bsh — Semi-árido quente
-  As' — Quente e úmido com chuvas de outono a inverno
-  20 — Localização das barragens.

FIGURA 16 — Tipos de clima no estado da Paraíba, segundo Koppen (1968)

conforme mostra a **Figura 17**. Todos estes rios são de regime temporário, permitindo, na estação seca, a utilização agrícola de seus leitos.

O **Quadro 3**, mostra a localização das barragens selecionadas, em relação às bacias hidrográficas, tipo de clima e da formação geológica correspondente.



Escala 1:2.500.000

FIGURA 17— BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DA PARAÍBA E LOCALIZAÇÃO DAS BARRAGENS

● Localização das barragens

➤ Rio principal

Barragem No.	Bacias Hidrográficas	CLIMA	R O C H A S
01	Piranhas	A'w ou Aw' quente e úmido	Filito
02			Granito
03			Gnaisse
04			Granito
05			Gnaisse
06			
07	Paraíba	Sémi-árido	Granito
08			
09			Mica-xisto
10			Gnaisse
11			Granito
12			Gnaisse
13			
14			
15	Curimataú		Mica-xisto
16			Gnaisse
17	Mamanguape	A's ou As' quente e úmido	Granito
18			
19			Gnaisse
20			

Quadro 3 - Relação das barragens seleccionadas, juntamente às bacias hidrográficas, clima e geologia local.

3.2.1.5. Comportamento e Características atuais das barragens Seleccionadas.

Barragem São José

Localiza-se na zona periférica da cidade de São José de Piranhas, estado da Paraíba. Apresenta uma secção transversal homogênea, tendo 14,50m de altura e 62,60m de largura, conforme mostra a **Figura 1** do **Anexo 1**. Na base há um filtro de areia, tipo tapete drenante, para facilitar a percolação da água, terminando com um "rock-fill".

A barragem rompeu-se em 1985, devido ao rompimento de outra barragem que se encontrava à montante. Em 1986 foi recuperada utilizando-se o material existente da antiga jazida utilizada, de solo residual, composta de alteração de filito e de rochas xistosas.

Atualmente a referida barragem apresenta uma fissura longitudinal ao longo do eixo barrável, tendo 1,0 metro de profundidade e 3 cm de largura, conforme mostra a **Fotografia 8**.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas de filitos e xistos.

No talude de montante foi construído um sistema de protecção com pedras lançadas "rip-rap".



Fotografia 8 - Barragem São José (São José de Piranhas), mostrando uma fissura longitudinal.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama. Entretanto como ocorre em quase todas as barragens, não há manutenção adequada da parte interessada.

Barragem Serra Vermelha I

Localiza-se na zona periférica da cidade de Conceição, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 131,5m de largura e 22,5m de altura, conforme mostra a **figura 2** do **Anexo 1**.

Na base possui um filtro de areia tipo chaminé, tendo 19,5m de altura, terminando com um "rock-fill".

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas graníticas. O solo utilizado no maciço foi retirado de uma jazida próxima à barragem e é proveniente da alteração do granito.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Frutuoso II

Localiza-se à 5 Km da cidade de Aguiar, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 20,10m de altura e 96,3m de largura na seção máxima, conforme mostra a **Figura 3 do Anexo 1.**

Na base há um filtro, tipo chaminé de 16,0m de altura, terminando com um pequeno "rock-fill".

A fundação da barragem é constituída de rochas de gnaiss-migmático e o solo é proveniente de jazidas próximas à barragem.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Queimadas

Localiza-se próximo à cidade de Santana dos Garrotes, estado da Paraíba. Possui 22,2m de altura e 114,8m de largura na seção máxima, conforme mostra a **Figura 4 do Anexo 1.**

Na base, a barragem exibe um filtro, tipo chaminé de 20,0m de altura, terminando com um pequeno "rock-fill".

A fundação é constituída de alteração de rochas de filitos e xistos, do grupo Cachoeirinha.

O solo utilizado é proveniente de jazidas próximas ao local.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas .

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Bom Jesus

Localiza-se à 5 Km da cidade de Agua Branca, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, conforme mostra a **Figura 5** do **Anexo 1**. A sua altura possui 26,0m e largura de 120,0m na seção máxima.

Na base, a barragem exhibe um filtro tipo chaminé de 24,0m de altura, terminando com um "rock-fill".

A fundação é constituída de alteração de rochas do complexo gnáissico-migmatítico, do pré-cambriano.

A **Fotografia 9** mostra fissuras bastante evoluídas, devido à erosão, nos taludes à montante e à jusante, tendo aproximadamente 1.0m de profundidade. A **Fotografia 10**, mostra a sedimentação do material carreado, obstruindo as calhas de drenagem.

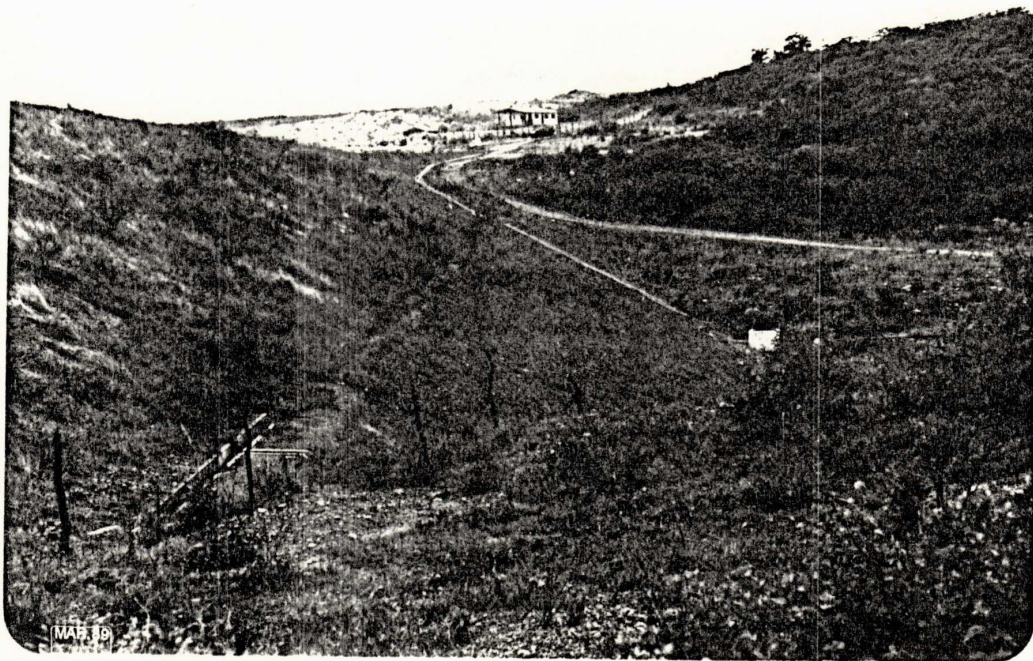


-A



-B

Fotografia - 9
Barragem Bom Jesus
(Água Branca- PB),
mostrando uma fis-
sura transversal,
bastante evoluida.
A) lado montante
B) lado jusante.



-A



-B

Fotografia -10

Barragem Bom Jesus
(Água Branca- PB) ,
mostrando a obstrução
das calhas de drena-
gem.

A) vista total
B) vista local.

A **Fotografia 11** mostra o sangradouro da referida barragem.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Albino

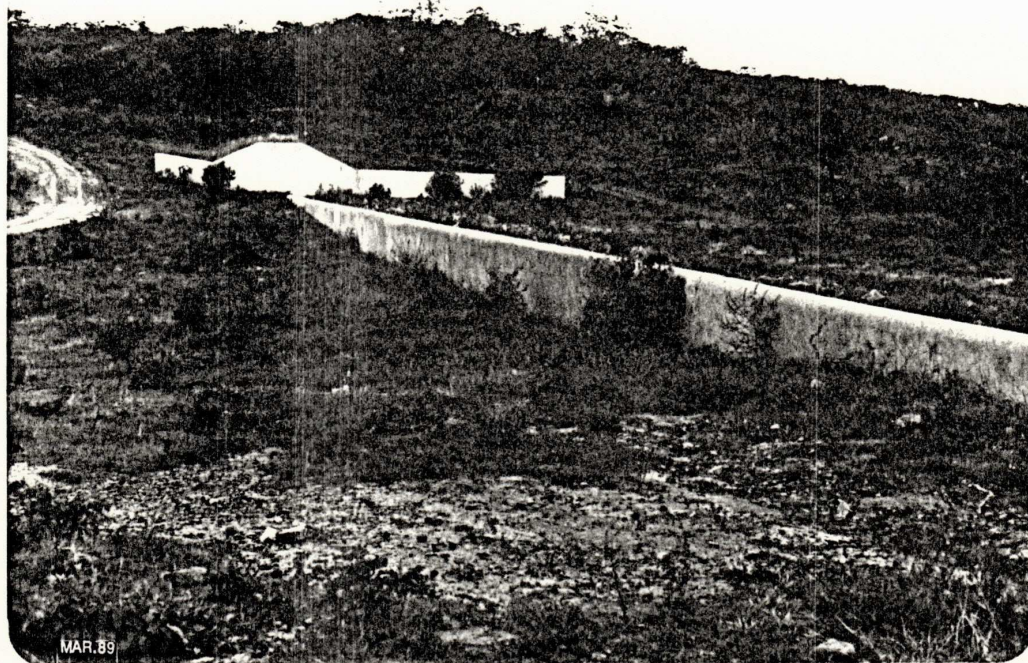
Localiza-se à 2 km da cidade de Imaculada, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 87,50 m de largura e 18m de altura, conforme mostra a **Figura 6** do **Anexo 1**.

Na base, apresenta um filtro, tipo chaminé, até a altura de 15,0 m, terminando com um pequeno "rock-fill". A **Fotografia 12**, mostra a percolação excessiva da água pelo filtro.

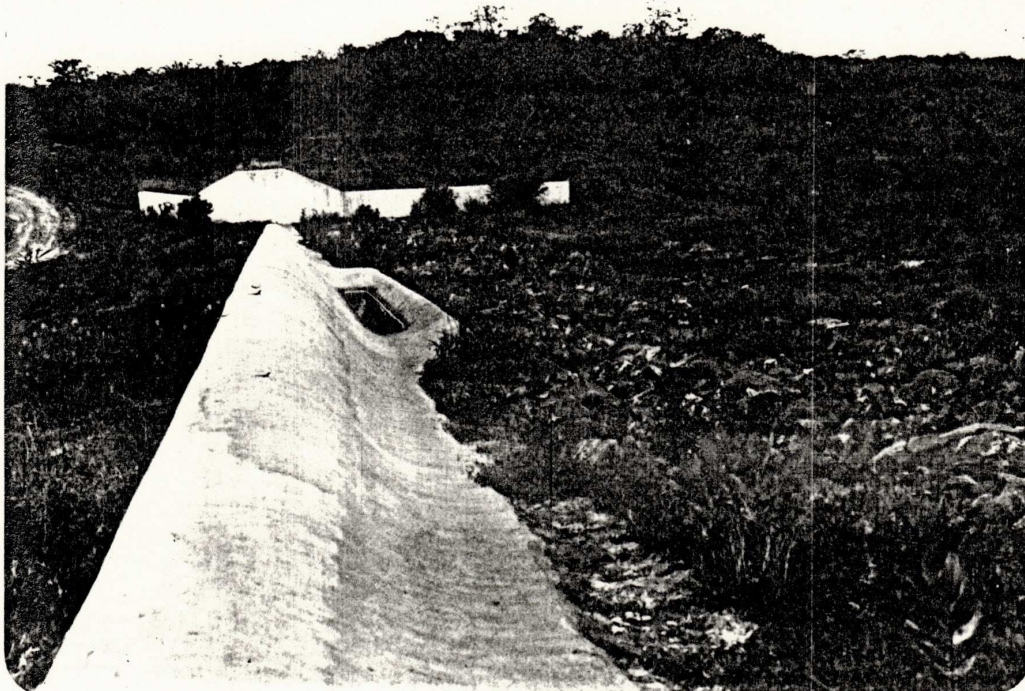
A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas do complexo gnáissico migmatítico. O solo utilizado no maciço é proveniente de jazidas localizadas nas proximidades do local.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.



-A

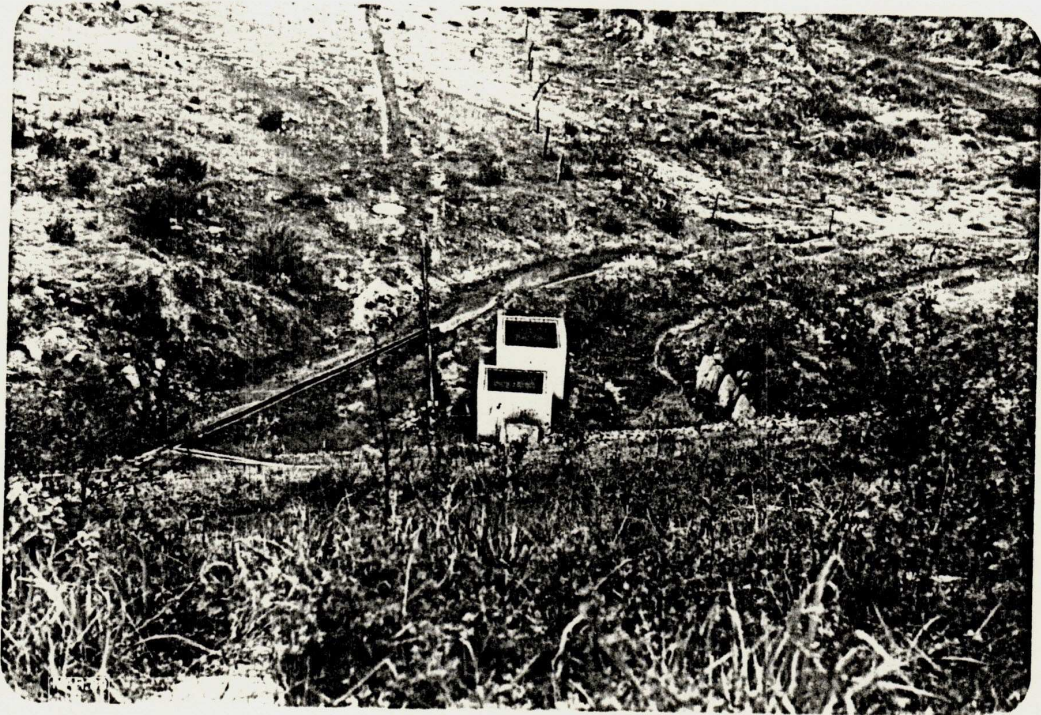


-B

Fotografia 11

Sangradouro da barragem Bom Jesus
(Água Branca-PB).

A) vista transversal
B) vista longitudinal



Fotografia - 12

Barragem Albino (Imaculada-PB), mostrando
percolação da água através do filtro drenante,
em excesso.

Barragem Martelo.

Localiza-se no município de São Mamede, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo uma largura de 62,40 m e 12,60 m de altura, conforme mostra a **Figura 7** do **Anexo 1**.

Na base apresenta um filtro tipo chaminé, até a altura de 9,0 m.

A proteção do talude de montante é feita através de um "rip-rap", enquanto o talude de jusante é protegido através de plantação de grama, não tendo um "rock-fill" na sua base.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas.

Barragem Salitre.

Localiza-se no município de Livramento, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 61,60 m de largura e 13,0 m de altura, conforme mostra a **Figura 8** do **Anexo 1**.

Na sua base há um filtro, tipo tapete drenante e um pequeno rock-fill no pé do talude à jusante.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Pocinhos.

Localiza-se no município de Monteiro, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo uma largura de 66,0 m e 13,10 m de altura, conforme mostra a **Figura 9** do **Anexo 1**.

Na sua base não foi construído um filtro. A percolação da água se faz presente na superfície do talude de jusante, através de pequenos filetes.

No coroamento, a barragem apresenta uma fissura longitudinal.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Santo Antonio.

Localiza-se no município de São Sebastião do Umbuzeiro, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo uma largura de 88,0 m e 17,50 m de altura, conforme mostra a **Figura 10** do **Anexo 1**.

Na base da barragem há um filtro, tipo chaminé, terminando com um pequeno "rock-fill".

O talude de montante é protegido com um "rip-rap" e o talude de jusante é protegido através de plantação de grama.

A fundação é constituída de alteração de rochas.

Barragem Serra Branca II.

A barragem localiza-se próximo à cidade de Serra Branca, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo uma largura de 102,0 m e 20,0 m de altura, conforme mostra a **Figura 11** do **Anexo 1**.

No coroamento, nota-se a presença de uma pequena fissura longitudinal.

A barragem não possui um sistema drenante através de filtro, na sua base.

Segundo Carvalho e Lucena (1986), a barragem ao alcançar a cota de acumulação, verificou-se o surgimen-

to de áreas com elevado grau de saturação, através das quais percolava água em pequenos filetes.

A linha freática aflora na superfície do talude de jusante, à altura de aproximadamente 6,0 m.

Os materiais utilizados no corpo da barragem, estudados por Carvalho e Lucena (1986), pertencem ao grupo (SC), do Sistema Unificado de Classificação de Solos, os quais são confirmados pelos estudos realizados na presente pesquisa.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Cordeiro.

Localiza-se no município de Congo, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo uma largura de 76.80 m e 16,0 m de altura, conforme mostra a **Figura 12** do **Anexo 1**.

Na base da barragem, há um filtro tipo tapete drenante e um pequeno "rock-fill" no pé do talude de jusante.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas gnáissicas.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Curimatã.

Localiza-se no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 60,40 m de largura e 13,20 m de altura, conforme mostra a **Figura 13** do **Anexo 1**.

Na base da barragem, há um filtro tipo tapete e um pequeno "rock-fill" no pé do talude jusante.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas gnáissicas.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Boa Vista.

Localiza-se próximo ao povoado de Boa Vista, município de Campina Grande, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 60.0 m de largura e 9,60 m de altura, conforme mostra a **Figura 14** do **Anexo 1**.

Na base da barragem há um pequeno filtro conjugado à um "rock-fill".

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas gnáissicas.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Craibeiras.

Localiza-se à 10 km da cidade de Picuí, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 72.0m de largura e 16.50m de altura, conforme mostra a **Figura 15** do **Anexo 1**.

Na base da barragem não há um sistema de filtro. A percolação da água no talude de jusante se faz presente em grande quantidade, provocando um escorrega-

mento do material, conforme mostra a **Fotografia 13**. A **Fotografia 14** mostra o nível da água, bastante baixo, no reservatório da barragem. Como se observa, a bomba submersa está totalmente descoberta e fora do alcance do nível da água, para o seu funcionamento.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rochas de mica-xisto e biotita-xisto, conforme mostra a **Fotografia 15**. Nesta foto observa-se também a presença de uma grande falha geológica regional, sob o maciço da barragem, fazendo com ela um ângulo de aproximadamente 90 graus. Quando na época de reservatório cheio, a água possivelmente percola facilmente por ela, devido ao deslocamento de dois grandes blocos de rochas.

Outro problema provável da causa do rebaixamento do nível da água, é o tipo do material utilizado no maciço da barragem. A **Fotografia 16** mostra a qualidade e a mistura do material. Como se observa, nota-se a presença de solo bastante arenoso, fragmentos de quartzo, pedregulhos graúdos, blocos de rochas e bastante mica.

Para sanar o problema da percolação da água pelo talude, o govêrno do estado providenciou a recuperação da referida barragem, cuja ampliação pode ser vista através de um muro de arrimo mostrado na **Fotografia 17**. O solo está sendo utilizado da mesma jazida explorada



Fotografia - 13

Barragem Craibeiras (Picuí-PB), mostrando o
escorregamento do material no talude à
jusante.



Fotografia - 14

Barragem Craibeiras (Picul-PB), mostrando o nível da água, bastante baixo no reservatório.



Fotografia - 15

Barragem Craibeiras (Picuí-PB), mostrando uma grande falha geológica, sob o maciço da barragem.



Fotografia - 16

Barragem Craibeiras (Picui-PB), mostrando o tipo do material utilizado no maciço da barragem.



Fotografia - 17

Barragem Craibeiras (Picuí-PB), mostrando o muro de arrimo para ampliação da barragem.

anteriormente, sendo alteração de rochas de mica-xisto e biotita-xisto, o qual, conforme os ensaios de Limites de Atterberg, não apresenta plasticidade. Os resultados obtidos são NL e NP, devido a grande quantidade de areia e mica presentes no solo.

A **Figura 8 do Anexo 1**, mostra o novo perfil da barragem ampliada, a qual terá um filtro inclinado, acompanhando a inclinação atual do talude de jusante e construção de um pequeno "rock-fill", no pé do referido talude, conforme mostra a **Fotografia 18**, onde observa-se o início dos trabalhos de reforma da barragem.

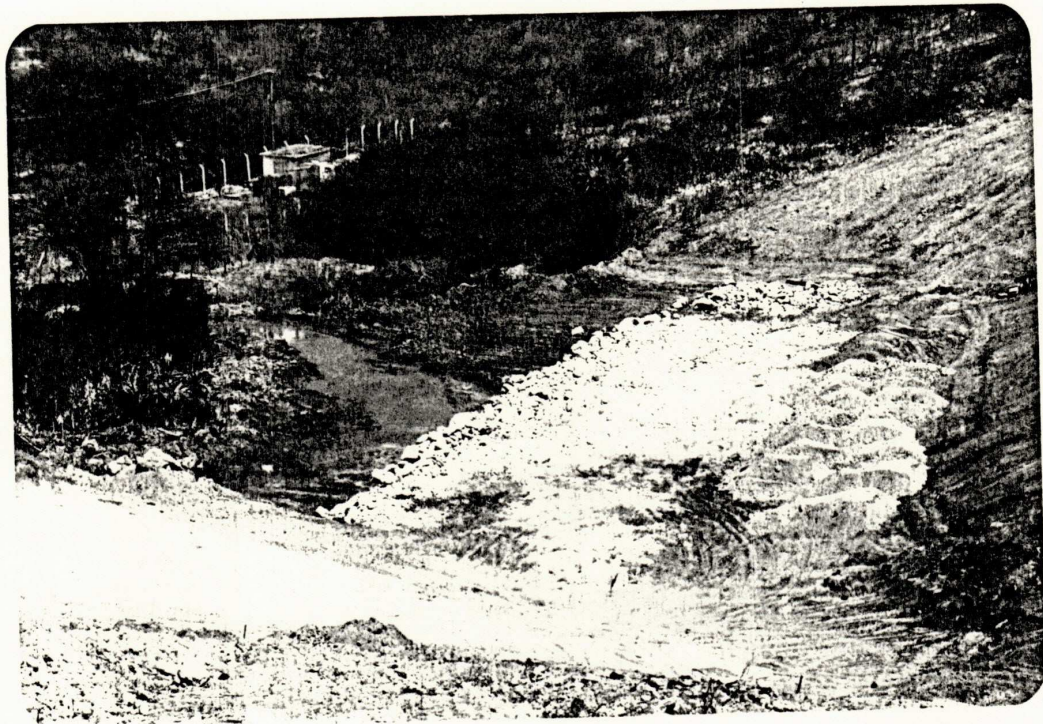
Barragem Poleiros.

Localiza-se no município de Barra de Santa Rosa, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 121,0 m de largura e 25,0 m de altura, conforme mostra a **Figura 17 do Anexo 1**.

Como se observa, nota-se a presença de um filtro tipo chaminé e um pequeno "rock-fill", no pé do talude de jusante.

A fundação é constituída de alteração de rochas de gnáisse migmatítico.

A barragem apresenta uma fissura longitudinal, no coroamento, preenchida recentemente por areia, conforme



Fotografia - 18

Barragem Craibeiras (Picul-PB), mostrando :
- escorregamento parcial do material do talude jusante.
- início da recuperação e ampliação da barragem.

mostra a **Fotografia 19**.

No talude de montante há um "rip-rap" até o topo, conforme mostra a **Fotografia 20** e no talude de jusante há presença de um "rock-fill", conforme mostra a **Fotografia 21**. Este talude é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

A **Fotografia 22** mostra a falta de manutenção da barragem. Como se observa, as calhas de drenagem estão obstruídas, sendo preenchidas por materiais provenientes das erosões causadas pelas águas.

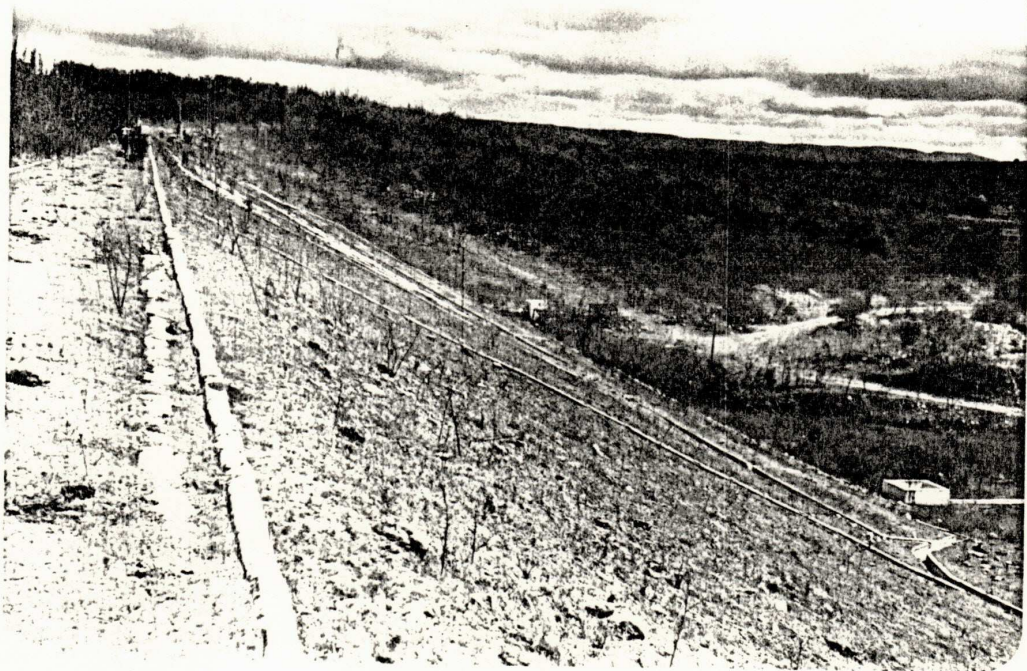
Barragem Araçagi

Localiza-se à 3 km da cidade de Esperança, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 55.60 m de largura e 11.30 m de altura, conforme mostra a **Figura 18** do **Anexo 1**.

No pé do talude de jusante, encontra-se inserido um filtro inclinado, associado à um "rock-fill". Como se observa, a posição da linha freática está bastante próxima à superfície do talude jusante.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.



Fotografia - 19

Barragem Poleiros (Barra de Santa Rosa-PB),
mostrando uma fissura longitudinal preenchi-
da por material arenoso.



Fotografia - 20

Barragem Poleiros (Barra de Santa Rosa-PB),
mostrando o "rip-rap", no talude montante.



Fotografia - 21

Barragem Poleiros (Barra de Santa Rosa-PB),
mostrando o "rock-fill" no pé do talude de jus-
sante.



Fotografia - 22

Barragem Poleiros (Barra de Santa Rosa-PB),
mostrando:
- Falta de manutenção e
- Obstrução das calhas drenantes.

Barragem Riacho do Emídio.

Localiza-se à 5 km da cidade de Montadas, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 54,0 m de largura e 12,50 m de altura, conforme mostra a **Figura 19** do **Anexo 1**.

Na sua base, há um filtro tipo tapete drenante, e um pequeno "rock-fill", no pé do talude de jusante.

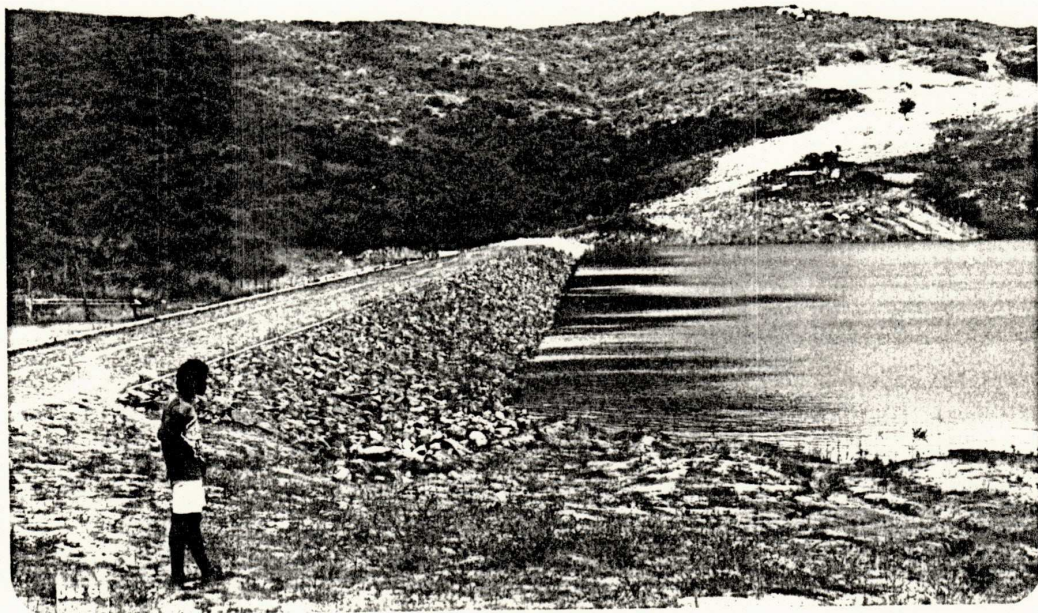
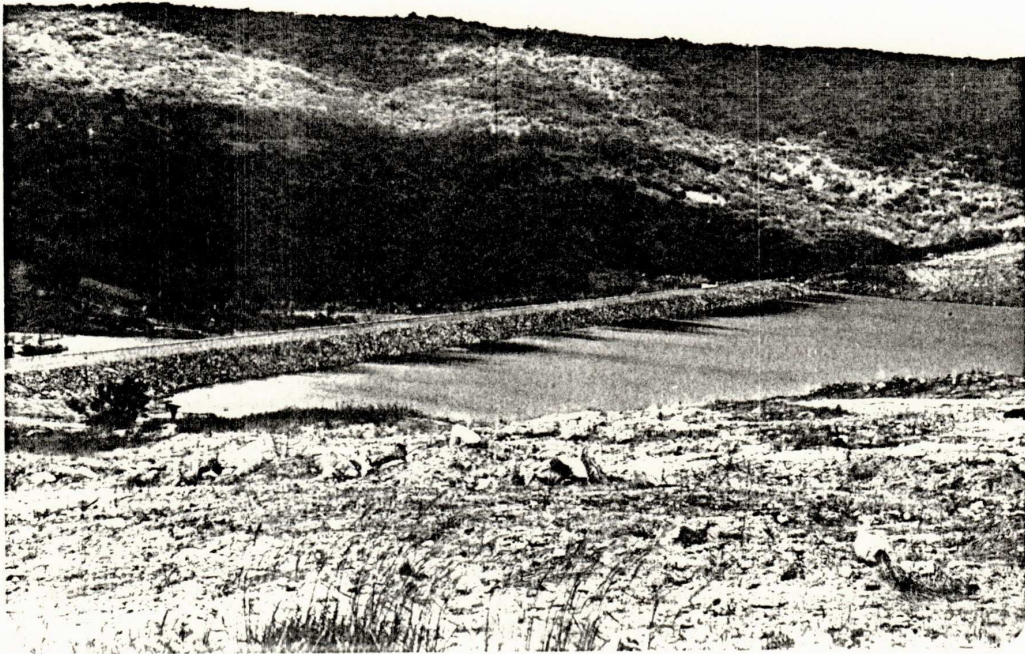
No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rocha granítica. O solo utilizado no maciço é proveniente de jazidas localizadas nas margens esquerda e direita do riacho, conforme mostra a **Fotografia 23**.

Barragem Massaranduba.

Localiza-se à 10 km da cidade de Massaranduba, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 114,20 m de largura e 25,50 m de altura,



Fotografia - 23

Barragem Riacho do Emlidio (Montadas-PB), mostrando o local das jazidas, às margens direita e esquerda do riacho, cujo solo foi utilizado no mciço da barragem.

conforme mostra a **Figura 20** do **Anexo 1**.

Na sua base possui um filtro tipo tapete drenante e um "rock-fill", no pé do talude de jusante.

A fundação da barragem é constituída de alteração de rocha de gnaiss migmatítico.

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

Barragem Serra Redonda.

Localiza-se, à 5 km da cidade de Serra Redonda, estado da Paraíba. Apresenta uma seção transversal homogênea, tendo 98,40 m de largura e 22,0 m de altura, conforme mostra a **Figura 21** do **Anexo 1**. Como se observa, nota-se a ausência de um filtro. A linha freática aflora na superfície do talude de jusante, provocando um escorregamento do material.

A **Figura 23** do **Anexo 1**, mostra a nova seção-tipo, para reforma da barragem, na qual terá um filtro inclinado tipo chaminé associado a um pequeno "rock-fill".

A fundação é constituída de alteração de rocha do complexo gnáissico-migmatítico.

106-A

No talude de montante foi construído um sistema de proteção com pedras lançadas.

O talude de jusante é protegido através de um sistema de drenagem superficial e plantação de grama.

3.2.2 Amostras de Solo.

Em cada barragem selecionada foram coletadas amostras de solo, deformadas e indeformadas, no talude de jusante, conforme ilustrado na **Figura 18**, sendo consideradas representativas, com a finalidade de realizar ensaios especiais e de caracterização para calcular os parâmetros essenciais correspondentes.

3.3 Métodos.

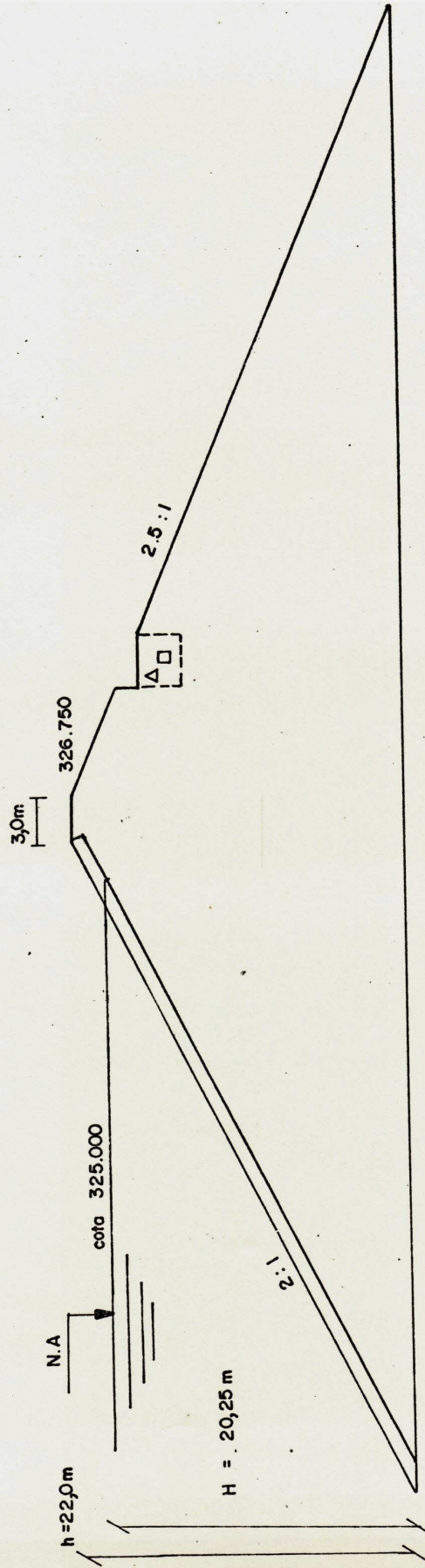
3.2.1. Introdução.

A metodologia utilizada para este trabalho consiste em :

- estudar o comportamento das barragens selecionadas, com estudo "in-situ", através de sondagens à percussão, determinação da permeabilidade e observações visuais;
- ensaios laboratoriais, para determinação dos parâmetros essenciais dos solos utilizados;
- cálculo da estabilidade;
- interpretação dos dados obtidos.

BARRAGEM SERRA REDONDA

Município de Serra Redonda — PB



LEGENDA:

- Δ Amostra deformada
- \square Bloco indeformado

Figura 18: POSIÇÃO DO LOCAL DA COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

3.3.2 Ensaio "In-Situ".

3.3.2.1. Sondagens à Percussão com circulação de água.

O método de sondagem, conhecido como de percussão com circulação de água, foi utilizado para:

- coletar amostras à diversas profundidades, para conhecer a litologia do maciço;
- dar uma indicação preliminar da consistência (solos argilosos), ou estado de compactidade (solos arenosos) das camadas de solo investigadas;
- detectar a profundidade do nível da água, (posição da linha freática).

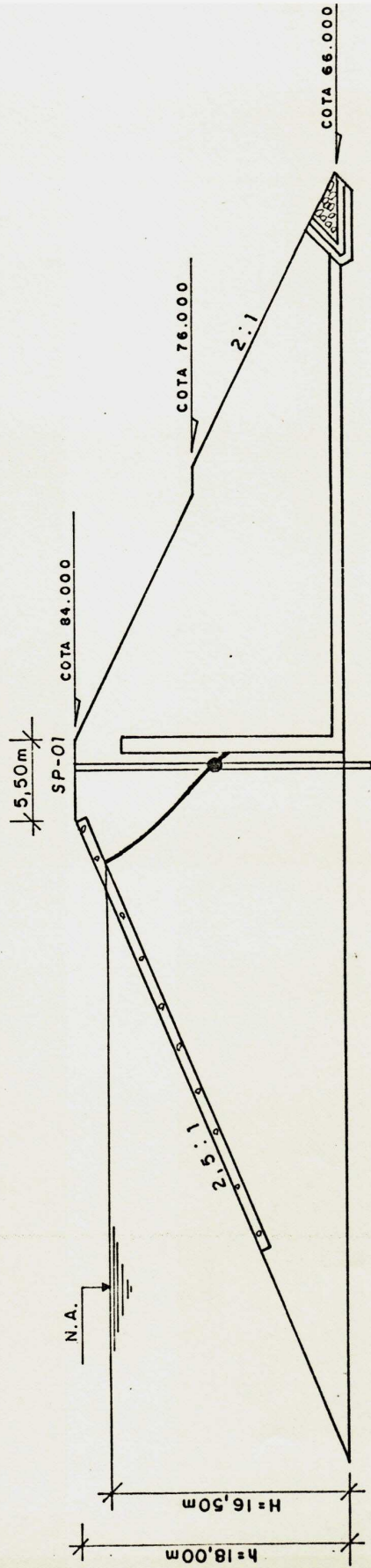
Os gráficos do SPT, referentes às sondagens à percussão, são ilustradas no **Anexo 3**.

Para melhor detectar a posição da linha freática das barragens selecionadas, foram realizados furos de sondagens à percussão conforme a seguir :

- nas barragens que tem filtro tipo chaminé, foi realizado apenas um (1) furo de sondagem à percussão, na crista da barragem, conforme mostra a

Figura 19;

BARRAGEM RIACHO DO EMÍDIO
(MONTADAS — PB)



L = 54,00 m

Escala 1:300

LEGENDA:

- SP Sondagem à percussão
- Linha freática possível
- Nivel da água encontrado através das sondagens à percussão

FIGURA 19 — MOSTRA O LOCAL DO FURO DA SONDAAGEM À PERCUSSÃO

- nas barragens que tem filtro tipo tapete, foram realizados dois (2) furos de sondagens à percussão, conforme mostra a **Figura 20**;

- nas barragens sem filtro, foram realizados três furos de sondagens à percussão, conforme mostra a **Figura 21**;

- nas barragens que tem somente filtro tipo "rock-fill", foram realizados quatro (4) furos de sondagens à percussão, conforme mostra a **Figura 22**.

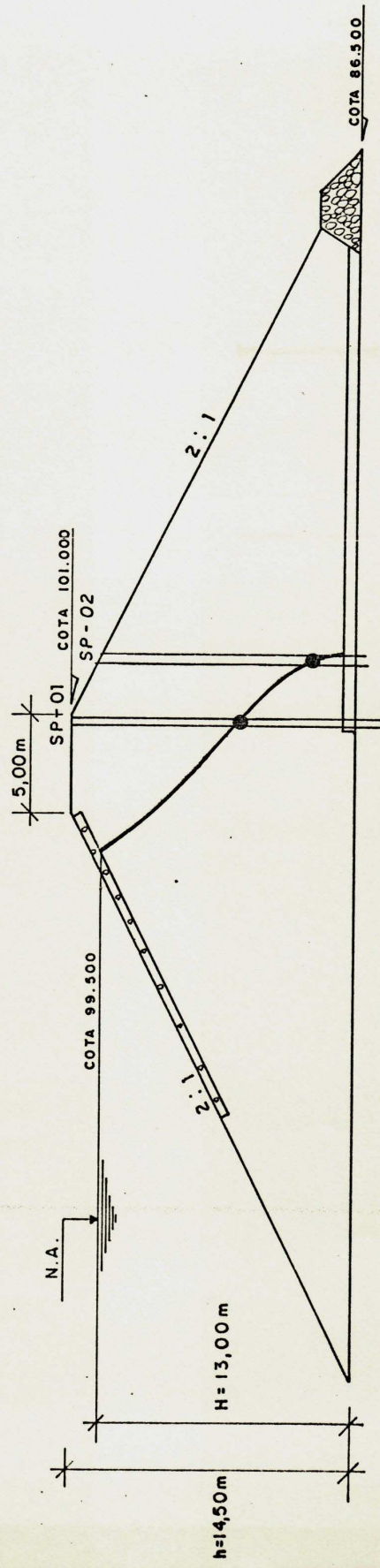
O traçado da linha freática a partir do nível de água nos furos de sondagens foi feita aleatoriamente, somente com o intuito de verificar a possível posição da linha.

3.3.2.2 - Ensaios de Permeabilidades "In-Situ" (carga constante).

No coroamento de cada barragem foram realizados ensaios de permeabilidade "in-situ", para a determinação da permeabilidade média do solo compactado.

O procedimento do ensaio foi realizado com carga constante, cravando-se um tubo de revestimento com 1,0 m de comprimento e 10,0 cm de diâmetro, conforme mostra a **Figura 23**. Em seguida ergueu-se o tubo de revestimento cerca de 50 cm, procurando-se não girá-lo,

BARRAGEM SÃO JOSÉ
MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DE PINHARAS - PB



L = 60,40m

Escala 1:300

- LEGENDA:**
- SP Sondagem à percussão
 - Linha freática possível
 - Nível da água encontrado através da sondagens à percussão

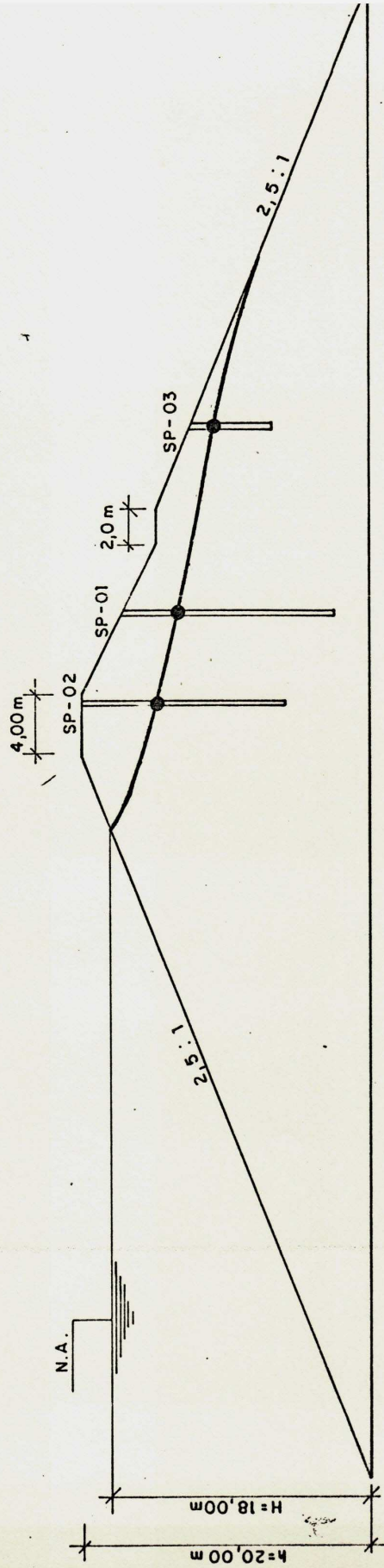
FIGURA 20 — MOSTRA O LOCAL DOS FUROS DAS SONDAGENS À PERCUSSÃO

vi) Classificação dos Solos.

A classificação dos solos foi realizada segundo o "Sistema Unificado de Classificação dos Solos" (SUCS) do U.S. Bureau of Reclamation (1953).

O solo utilizado nos maciços das barragens é proveniente de jazidas pesquisadas nas proximidades do local barrável, sendo produto de alteração das rochas existentes (gnaisse, granito, filito e mic-xisto).

BARRAGEM SERRA BRANCA II
MUNICÍPIO DE SERRA BRANCA - PB



LEGENDA:

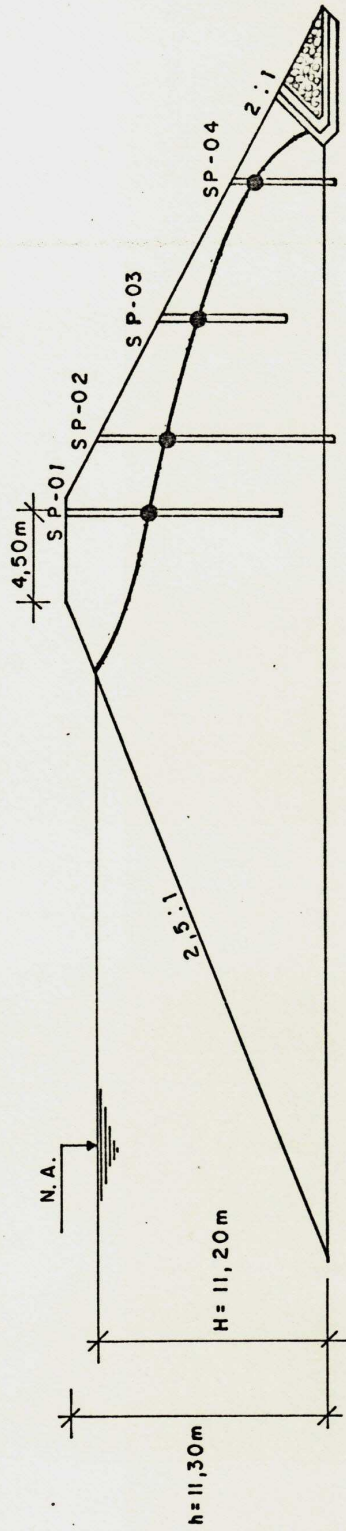
SP Sondagem à percussão

— Linha freática possível

● Nível da água encontrado através das sondagens à percussão

FIGURA 21 — MOSTRA O LOCAL DOS FUROS DAS SONDAJENS À PERCUSSÃO

BARRAGEM ARAÇAGI
(ESPERANÇA - PB)



L = 55,60 m

Escala 1:300

LEGENDA:

- SP — Sondagem à percussão
- — Linha freática possível
- — Nivel da água encontrado através das sondagens à percussão

FIGURA 22 — MOSTRA O LOCAL DOS FUROS DAS SONDAJENS À PERCUSSÃO

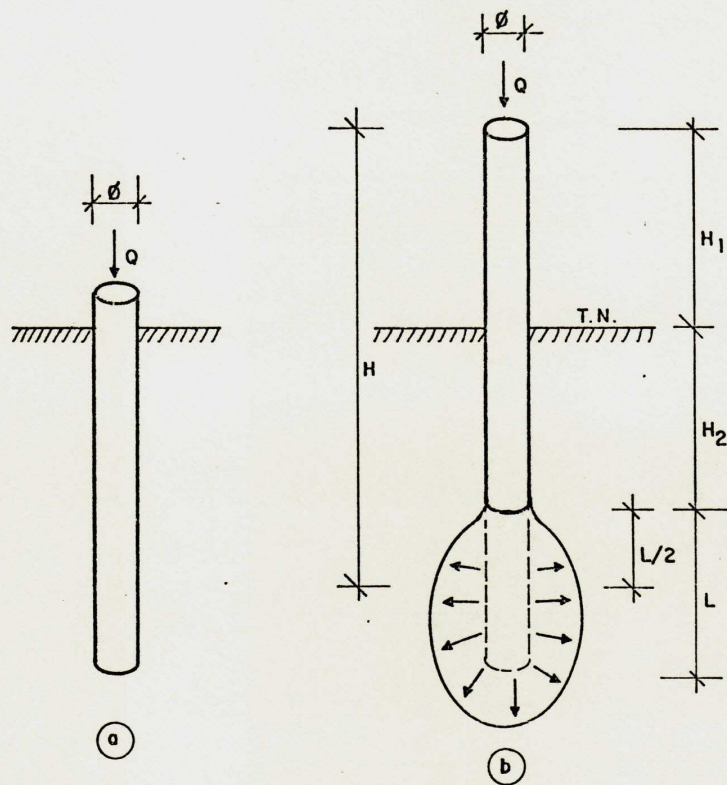


FIGURA 23 : Ensaio de permeabilidade In-Situ :

- a) Cravação do revestimento;
- b) Soergimento do tubo com um comprimento L .

Segundo Hvorslev (1951)

para não modificar a estrutura do solo dentro do furo, conforme mostra a **Figura 23 b**.

Após limpeza interna do revestimento, encheu-se de água o seu interior, permanecendo, até saturar o solo. No início do ensaio completou-se com água até a boca do tubo e manteve-se o nível constante. Anotou-se a quantidade de água acrescida após 1, 2 e 5 minutos e depois de 5 em 5 minutos, pelo período de 60 minutos, aproximadamente.

O cálculo foi realizado conforme a fórmula desenvolvida por Hvorslev (1951).

$$K = \frac{Q}{2 \text{ Pi} \times H_c \times L} \times 1_m (2L / D)$$

onde:

K = Permeabilidade média, (cm/s);

Q = Vazão, (cm³/s);

Hc = Profundidade do furo, (cm);

L = Espaço erguido do furo, sem revestimento, (cm);

D = Diâmetro do tubo, (cm);

Pi = 3,1416.

3.3.3. Ensaio Laboratoriais

Os ensaios realizados no laboratório de solos, foram desenvolvidos objetivando definir-se as características dos materiais utilizados nos maciços das barragens, bem como suas propriedades de resistência ao cisalhamento e permeabilidade.

i) Compactação

A energia utilizada nos ensaios de compactação corresponde ao do Proctor Normal, obedecendo à Norma DNER ME 4764, associada à NBR 6457 DEZ/1983, objetivando-se a obtenção dos parâmetros de massa específica aparente seca máxima (g_s max.) e umidade ótima (h_{ot}), onde:

g_s = massa específica aparente.

ii) Limites de Atterberg

Os ensaios de Limite de Liquidez (LL) foram efetuados segundo às Normas da ABNT 02452, NBR- 6459 sendo consultada a NBR- 6457 que determina a preparação de amostras de solo.

Os ensaios de Limite de Plasticidade (LP) foram efetuados de acordo com as normas da ABNT-02453, NBR-7180 e foram consultadas as Normas NBR-6457 (preparação de amostras de solo).

iii) Granulometria

Os ensaios de granulometria foram efetuados segundo as normas da ABNT-02453 NBR-7181, associada à NBR-5734 (peneiras para ensaios - especificação) e NBR-6457 (preparação de amostras de solo).

iv) Ensaios Triaxiais.

Foram realizados dois tipos de ensaios de compressão triaxial:

- triaxial UU, não consolidado, não drenado, sem medida da tensão neutra, para se determinar os parâmetros de coesão (C) e ângulo de atrito interno (ϕ) do solo, em termos de tensões totais, e compará-los com os dados dos parâmetros dos projetos originais.

De cada amostra indeformada foram extraídos 3 corpos de prova, de 4 cm de diâmetro

por 6 cm de altura, e em seguida foram submetidos ao ensaio de compressão triaxial rápido, com tensões de confinamento de 100 kPa, 200 kPa e 400 kPa respectivamente, conforme mostra a **Fotografia 24**.

- triaxial CD, consolidado e drenado, para determinar os referidos parâmetros, em termos de tensões efetivas, devido as barragens se encontrarem com o reservatório cheio de água e a percolação através do maciço estar se processando.

A metodologia utilizada, na extração dos corpos de prova, foi semelhante ao caso anterior.

Foram colocados na câmara de compressão triaxial com pressões confinantes de 100 kPa, 200 kPa e 400 kPa respectivamente, aplicando uma contra-pressão de igual valor para a saturação dos corpos de prova durante 48 horas, aproximadamente. Em seguida, procedeu-se o adensamento durante 4 dias com drenagem da água presente na amostra sob às mesmas pressões utilizadas na saturação. A seguir foi realizado o ensaio, conforme padrão descrito por Bishop and Henkel (1982).

Foram realizados apenas cinco ensaios triaxiais, tipo CD, (adensado e drenado), devido que para a realização de um ensaio triaxial tipo



Fotografia 24

Corpos de prova, rompidos através de ensaios triaxiais, tipos UU e CD.

CD, é necessário um período de aproximadamente 25 dias. Portanto para realizar os ensaios referentes às vinte barragens selecionadas, seria necessário longo tempo.

A escolha das cinco barragens representativas foi baseada em:

- tipo de solo ;
- localização;
- altura.

v) Permeabilidades

Os ensaios de permeabilidades no laboratório, foram realizados em permeômetro de carga variável, determinando-se os valores das permeabilidades horizontal e vertical.

O procedimento do ensaio foi executado, retirando-se corpos de prova de 6 cm de altura por 8 cm de diâmetro dos blocos de solo indeformados, sendo que em alguns casos, foram utilizadas amostras deformadas, devido à impossibilidade da moldagem em corpos de prova, por apresentarem material bastante granular.

3.3.4. Estabilidade das Barragens Seleccionadas.

3.3.4.1. Figuras geométricas das barragens.

Para a análise das estabilidades das barragens, traçou-se, inicialmente os seguintes desenhos:

- secções máximas das barragens, como mostram as **Figuras do Anexo 1**, com escalas que variam de 1:200 à 1:500;

- secções transformadas, como ilustrado nas **Figuras do Anexo 2**, o qual mostra 5 exemplos, utilizando-se um coeficiente de transformação dado pela fórmula:

$$X = X_i \cdot \sqrt{k_v/k_h}$$

onde:

X = distância a ser transformada;

X_i = distância original;

K_v = permeabilidade vertical;

K_h = permeabilidade horizontal.

- traçado da linha freática, na secção transformada, utilizando-se o método da parábola de Casagrande, Esteves (1964).

Para a barragem sem filtro, efetuou-se a correção da saída da água, no talude de jusante, segundo L. Casagrande;

iv) transferência da linha freática, da seção transformada para a seção normal, através da fórmula:

$$X_i = X \sqrt{K_h/K_v} .$$

3.3.4.2. Cálculo da Estabilidade.

O cálculo da estabilidade dos taludes das barragens selecionadas foi realizado, pelo método de Bishop Simplificado, conforme dados dos parâmetros dos projetos originais e, em seguida calculado de acordo com os parâmetros determinados na presente pesquisa, e comparados os resultados obtidos nas duas situações para as fases de final de construção, em termos de tensões totais. Os cálculos foram feitos utilizando-se um programa de computador em basic, adaptado e implantado no laboratório de solos do Departamento de Engenharia Civil do CCT/UFPB, pelo prof. J.B. Queiroz de Carvalho.

O procedimento foi realizado conforme a seguir:

- traçou-se as seções máximas das barragens, conforme a **Figura 1 do Anexo 4**, a qual mostra um exemplo para o cálculo da estabilidade, destacando-se a barragem São José;

- determinou-se os centros dos círculos das prováveis superfícies de ruptura, pelo método de Jumikis, (1967), conforme ilustrado na **Figura 24**.

Foi calculada também a estabilidade do talude de montante da barragem São José, pelo método Bishop simplificado, manualmente, para comparação com o obtido pelo programa computacional, conforme ilustrado no **Anexo 5**.

A **Tabela 1** do **Anexo 5**, mostra o procedimento do cálculo do fator de segurança, conforme a fórmula do método de Bishop simplificado.

$$F = \frac{1}{\sum W \cdot \text{sen}} \cdot \sum \{ c' \cdot b + \text{tg } \theta' \cdot [w (1 - \bar{B})] \} \cdot \frac{\text{SEC } \alpha}{1 + \frac{\text{tg } \theta \cdot \text{tg } \alpha}{F}}$$

Onde:

b = largura da fatia;

W = peso da fatia;

c = coesão;

θ = ângulo de atrito interno;

\bar{B} = parâmetro de tensão neutra, adotado igual a 0,1 para teste;

α = ângulo externo (formado pela Normal e o peso da fatia);

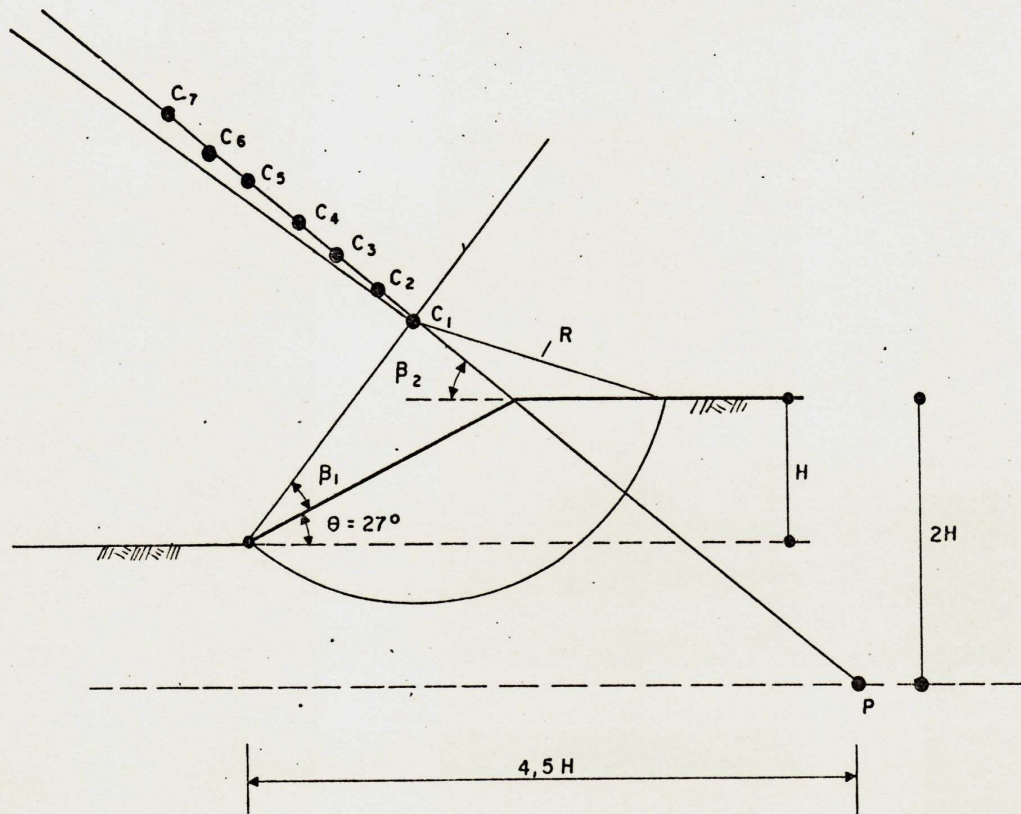


FIGURA 24 — PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DOS CÍRCULOS, DA SUPERFÍCIE DA RUPTURA, JUMIKIS (1967).

R = raio;

T = resultante das tensões de cisalhamento.

O cálculo do fator de segurança foi repetido, adotando valores para $B = 0,2$, $0,3$ e $0,4$, conforme **Tabelas 2, 3 e 4, do Anexo 5,** respectivamente, para conhecer a variação do fator de segurança F em função do parâmetro B , conforme mostrado na **Figura 25.**

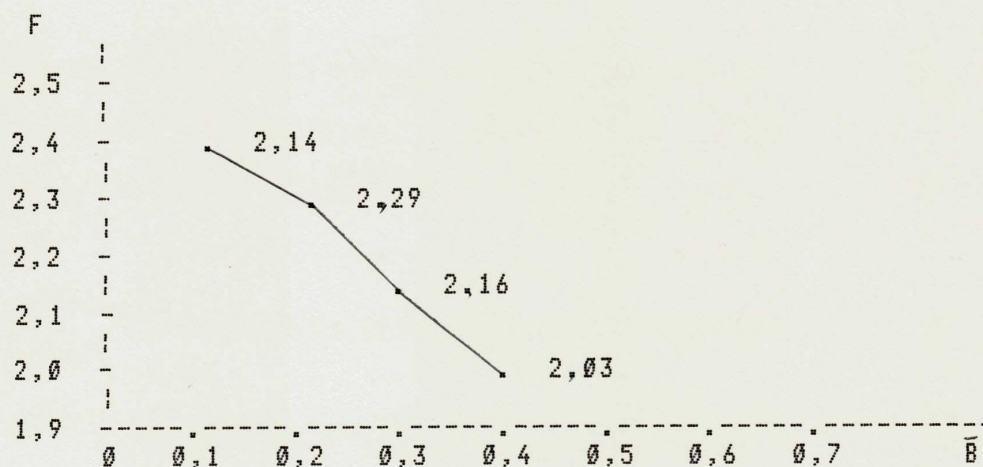


Figura 25. Mostra a variação do Coeficiente de Segurança (F), em função do parâmetro de Poro-Pressão (B).

Finalmente, foi calculada a estabilidade das barragens utilizando os mesmos parâmetros do solo, porém em termos de tensões efetivas, em solos provenientes de cinco barragens consideradas representativas, através

do ensaio triaxial tipo CD, caracterizando o caso de reservatório cheio.

O procedimento foi realizado conforme o item anterior, porém foram acrescentados os seguintes parâmetros:

- traçou-se a linha freática, conforme ilustrado na **Figura 2 do Anexo 4**, destacando-se a barragem Serra Redonda;
- introduziu-se a massa específica do solo natural e saturado ($g_{nat.}$ e $g_{sat.}$);
- coesão efetiva do solo (c');
- ângulo de atrito interno efetivo do solo (θ').

C A P Í T U L O I V

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta e discute os resultados obtidos nesta pesquisa. Inicialmente será feita uma análise dos parâmetros obtidos nos diversos ensaios realizados. Em seguida será analisado o resultado do estudo referente à estabilidade das barragens.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS TRIAXIAIS.

As **Tabelas 1 e 2** apresentam, respectivamente, os resultados dos parâmetros de coesão (C) e ângulo de atrito interno (θ) dos solos, em termos de tensões totais, obtidos dos projetos originais das barragens selecionadas e através de ensaios triaxiais do tipo UU (não consolidado e não drenado).

Como se observa, existe uma semelhança bastante razoável, entre os parâmetros de projeto e aqueles encontrados na presente pesquisa, nas barragens de São José, Frutuoso II e Pocinhos. No restante das barragens foi observada uma diferença bastante significativa entre estes parâme-

BARRAGENS		g s	C	Ø
No.	NOME	(kg/cm ³)	(kPa)	(graus)
01	São José	1,802	45	24
02	Serra Vermelha I	1,987	170	23
03	Frutuoso II	1,775	80	23
04	Queimadas	1,875	60	26
05	Bom Jesus	1,915	130	19
06	Albino	1,829	120	11
07	Martelo	1,820	75	24
08	Salitre	1,928	65	16
09	Pocinhos	1,923	80	20
10	Santo Antonio	1,712	65	28
11	Serra Branca II	1,780	65	28
12	Cordeiro	1,920	80	17
13	Curimatá	1,806	55	11
14	Boa Vista	1,840	130	28
15	Craibeiras	1,994	35	20
16	Poleiros	1,903	75	23
17	Araçagi	1,820	100	19
18	Riacho do Emídio	1,955	120	29
19	Massaranduba	1,690	80	14
20	Serra Redonda	1,749	150	25

Tabela 1 - Resultados dos parâmetros C e Ø, obtidos através de ensaios triaxiais UU, referentes aos projetos originais.

BARRAGENS		g s	C	Ø
No.	NOME	(kg/cm ³)	(kPa)	(graus)
01	São José	1,695	40	24 I
02	Serra Vermelha I	1,880	30	20 I
03	Frutuoso II	1,642	75	28 I
04	Queimadas	1,724	35	29 I
05	Bom Jesus	1,711	50	29 I
06	Albino	1,650	60	27 I
07	Martelo	1,890	15	17 I
08	Salitre	1,881	30	20 I
09	Pocinhos	1,810	80	28 D
10	Santo Antonio	1,858	38	27 I
11	Serra Branca II	1,887	20	18 D
12	Cordeiro	1,758	60	27 D
13	Curimatá	1,748	50	28 I
14	Boa Vista	1,695	30	23 D
15	Craibeiras	1,730	12	18 D
16	Poleiros	1,770	40	22 I
17	Araçagi	1,778	45	22 I
18	Riacho do Emídio	1,821	50	22 I
19	Massaranduba	1,690	40	20 I
20	Serra Redonda	1,720	15	18 D

Tabela 2 - Resultados dos parâmetros C e Ø através dos ensaios triaxiais UU, obtidos na presente pesquisa.

D= realização do ensaio com amostra deformada.

I= realização do ensaio com amostra indeformada.

tros, nas duas condições, onde a coesão do solo por exemplo, difere em mais de 100%. Esta diferença está ligada ao fato do ensaio triaxial UU, determinado em termos de tensões totais, não representar bem o comportamento das barragens após a sua construção, quando já existiu algum adensamento do maciço, já que a maioria dos ensaios foram realizados em amostras indeformadas. Pode ser atribuída também às diferentes metodologias utilizadas, amostragens e mais provavelmente ao grau de compactação com que as amostras foram preparadas, embora se tenha reproduzido as condições de campo em laboratório, resta saber (e há evidência) de diferenças entre campo e metodologia de projeto.

A **Tabela 2**, mostra alguns ensaios triaxiais que foram realizados com amostras deformadas. Isto deveu-se à impossibilidade da moldagem dos corpos de prova à partir dos blocos indeformados, em virtude dos mesmos conterem muito pedregulhos.

A **Tabela 3** apresenta os resultados dos parâmetros, em termos de tensões efetivas, de cinco barragens, consideradas representativas do conjunto de 20 barragens, obtidos através de ensaios Triaxiais CD (consolidado-drenado), para verificar o comportamento atual das barragens, às quais encontram-se com seus reservatórios cheios.

Como era de se esperar, a coesão efetiva "c'" do solo das barragens, para fase de reservatório cheio, apresenta um valor menor do que a coesão total "c", encontrado para a fase final de construção, enquanto o ângulo de atrito interno efetivo (ϕ') é maior que o ângulo de atrito interno total (ϕ).

BARRAGENS		C'	θ'
No.	NOME	(kPa)	(graus)
11	Serra Branca II	15	27 D
16	Poleiros	35	26 I
17	Araçagi	40	27,5 I
19	Massaranduba	32	25 I
20	Serra Redonda	12	28,5 D

Tabela 3 - Resultados dos parâmetros C' e θ' de cinco barragens representativas, obtidos através de ensaios triaxiais CD, na presente pesquisa.

D = ensaio realizado com amostra deformada.

I = ensaio realizado com amostra indeformada.

4.3 Resultados com relação ao Ensaio de Permeabilidade.

A Tabela 4, apresenta os valores das permeabilidades, conforme dados dos projetos originais, em comparação com os obtidos através de ensaios realizados no laboratório e com a permeabilidade determinada através de ensaios "in-situ" nos maciços das barragens selecionadas.

Como se observa, os ensaios realizados com amostras indeformadas, moldadas a partir dos blocos, apresentam, de um modo geral, permeabilidades maiores que as determinadas durante a fase do projeto. Acredita-se que isso se deve ao fato de as permeabilidades realizadas em amostras indeformadas serem mais susceptíveis à saturação dos corpos de prova, do que aquelas realizadas em amostras moldadas, o que tendência o aparecimento de maiores permeabilidades.

Os ensaios realizados "in-situ" nas 20 barragens apresentam 13 barragens com permeabilidades maiores do que aquelas realizadas no laboratório e 7 com menores, o que não permite uma caracterização perfeita de uma tendência. Acredita-se que isso se deve ao fato dos ensaios "in-situ" terem sido realizados em uma cota diferente da cota onde foram coletados os blocos indeformados. Isto deveu-se à problemas executivos encontrados durante o processo de realização dos ensaios.

Como se observa, nota-se que apenas os solos das barragens Frutuoso II e Albino apresentam dados semelhantes

No.	Barragem	Projeto (cm/s)	Pesquisa (cm/s)	
			laboratório	In-Situ
01	São José	$1,69 \times 10^{-6}$	$2,79 \times 10^{-4}$ I	$3,05 \times 10^{-5}$
02	S.Vermelha I	$1,2 \times 10^{-7}$	$1,84 \times 10^{-4}$ I	$4,45 \times 10^{-5}$
03	Frutuoso II	$1,43 \times 10^{-5}$	$3,28 \times 10^{-5}$ I	$9,42 \times 10^{-5}$
04	Queimadas	$1,39 \times 10^{-7}$	$2,34 \times 10^{-6}$ I	$3,92 \times 10^{-5}$
05	Bom Jesus	$4,28 \times 10^{-7}$	$2,38 \times 10^{-5}$ I	$2,27 \times 10^{-4}$
06	Albino	$7,59 \times 10^{-6}$	$2,41 \times 10^{-5}$ I	$1,64 \times 10^{-5}$
07	Martelo	$9,4 \times 10^{-7}$	$1,4 \times 10^{-4}$ I	$7,61 \times 10^{-5}$
08	Salitre	$6,02 \times 10^{-7}$	$2,77 \times 10^{-4}$ I	$4,86 \times 10^{-5}$
09	Pocinhos	$1,25 \times 10^{-6}$	$2,45 \times 10^{-4}$ D	$1,7 \times 10^{-5}$
10	Santo Antonio	$6,92 \times 10^{-7}$	$3,6 \times 10^{-6}$ I	$2,52 \times 10^{-5}$
11	S.Branca II	$1,44 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-5}$ D	$3,98 \times 10^{-5}$
12	Cordeiro	$3,61 \times 10^{-6}$	$4,72 \times 10^{-5}$ D	$9,08 \times 10^{-5}$
13	Curimatá	$7,14 \times 10^{-7}$	$3,57 \times 10^{-6}$ I	$3,51 \times 10^{-5}$
14	Boa Vista	$1,45 \times 10^{-6}$	$2,07 \times 10^{-6}$ D	$3,14 \times 10^{-4}$
15	Craibeiras	$1,55 \times 10^{-6}$	$3,03 \times 10^{-4}$ D	$3,22 \times 10^{-5}$
16	Poleiros	$2,09 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-6}$ I	$5,25 \times 10^{-5}$
17	Araçagi	$1,24 \times 10^{-7}$	$3,26 \times 10^{-7}$ I	$1,07 \times 10^{-5}$
18	R. do Emídio	$1,9 \times 10^{-6}$	$2,7 \times 10^{-6}$ I	$3,2 \times 10^{-5}$
19	Massaranduba	$1,16 \times 10^{-5}$	$4,16 \times 10^{-6}$ I	$3,71 \times 10^{-5}$
20	S. Redonda	$1,14 \times 10^{-6}$	$4,0 \times 10^{-6}$ D	$6,91 \times 10^{-5}$

Tabela 4 - Relação da permeabilidade média entre os dados dos projetos originais, os resultados do laboratório e as permeabilidades "in-situ".

D = ensaio realizado com amostra deformada.

I = ensaio realizado com amostra indeformada.

entre as permeabilidades realizadas no laboratório, in-situ e os dados dos projetos originais.

4.4 Resultados das Sondagens à Percussão.

O Anexo 3 mostra os gráficos de resistência à penetração x profundidade das barragens estudadas, referentes aos furos de sondagens à percussão realizados a partir dos coroamentos das barragens, nas suas seções máximas.

Como se observa, nota-se que o SPT calculado apresenta um valor acima de 6 (seis), o qual atribúe aos solos compactados, nos maciço das barragens, razoável comportamento quanto à compacidade e consistência dos solos, o que indiretamente também evidencia razoável condição de compactação durante a construção das barragens, exceto as barragens São José, Curimatá e Serra Redonda, as quais apresentam em alguns trechos, um SPT muito baixo, o que sinaliza para condições de compactação não satisfatórias durante a execução dessas barragens. Nota-se outrossim, a presença constante de pedregulhos em quase todas as barragens, os quais possivelmente alteram o resultado do SPT, devido à dificuldade de penetração do barrilete.

4.5. Resultados dos Ensaio de Compactação dos Solos

A **Tabela 5**, apresenta os valores dos parâmetros de massa específica aparente seca máxima, (g s.max.) e umidade ótima, (h ot), de acordo com os dados dos projetos originais das barragens selecionadas, e os obtidos na presente pesquisa, através de ensaios de compactação, realizados com a energia do Proctor Normal.

Verifica-se que os resultados da massa específica aparente seca máxima da pesquisa são bastante semelhantes aos dados dos projetos, com exceção dos valores das barragens Serra Vermelha I, Martelo, Santo Antônio, Serra Branca II e Riacho do Emidio, os quais apresentam alguma diferença. Quanto à umidade ótima, além das barragens citadas acima, existe uma maior divergência também com os solos das barragens de Frutuoso II, Pocinhos e Cordeiro.

A **Tabela 6** mostra a relação entre a massa específica aparente seca máxima (g s. max.), realizada através do ensaio de compactação (Proctor Normal), e a massa específica aparente seca de campo (g s), para verificar o estado de compactação do solo dos maciços das barragens.

Observa-se que as barragens Frutuoso II, Santo Antonio, Poleiros, Araçagi e Riacho do Emidio apresentam uma boa compactação, tendo um grau de compactação (GC) acima ou de 96 %. As outras barragens apresentam uma porcentagem média, em torno de 94 %, verificando-se que, de um modo ge-

BARRAGENS		g _{max} (Kg/cm ³)		h _{ót} %	
No.	NOME	Projeto	Pesquisa	Projeto	Pesquisa
01	São José	1,766	1,795	16,8	15,6
02	Serra Vermelha I	1,798	2,000	12,7	15,4
03	Frutuoso II	1,720	1,710	20,0	16,6
04	Queimadas	1,875	1,815	16,0	14,6
05	Bom Jesus	1,768	1,840	17,1	16,8
06	Albino	1,825	1,773	15,3	17,3
07	Martelo	1,820	1,980	14,0	14,8
08	Salitre	1,889	1,975	11,8	13,5
09	Pocinhos	1,878	1,905	12,5	17,5
10	Santo Antonio	1,780	1,935	18,0	12,4
11	Serra Branca II	1,850	1,983	13,7	17,6
12	Cordeiro	1,820	1,890	13,5	16,7
13	Curimatá	1,806	1,860	14,0	14,6
14	Boa Vista	1,858	1,784	13,2	15,9
15	Craibeiras	1,894	1,840	13,0	11,2
16	Poleiros	1,885	1,850	13,0	15,7
17	Araçagi	1,748	1,810	15,1	16,0
18	Riacho do Emídio	1,721	1,900	15,0	11,6
19	Massaranduba	1,690	1,785	20,0	18,0
20	Serra Redonda	1,720	1,805	13,0	14,0

Tabela 5 - Resultados dos parâmetros g. s max. e h_{ót}, conforme dados dos projetos originais e a compactação realizada na presente pesquisa.

No.	BARRAGEM	g s. max. (kg/cm ³)	g s (kg/cm ³)	(GC) %
01	São José	1,795	1,695	94
02	Serra Vermelha I	2,000	1,880	94
03	Frutuoso II	1,710	1,642	96
04	Queimadas	1,815	1,724	95
05	Bom Jesus	1,840	1,711	93
06	Albino	1,773	1,650	93
07	Martelo	1,980	1,890	95
08	Salitre	1,975	1,881	95
09	Pocinhos	1,905	1,810	95
10	Santo Antonio	1,935	1,858	96
11	Serra Branca II	1,983	1,887	95
12	Cordeiro	1,890	1,758	93
13	Curimatá	1,860	1,748	94
14	Boa Vista	1,784	1,695	95
15	Craibeiras	1,840	1,730	94
16	Poleiros	1,850	1,770	96
17	Araçagi	1,810	1,778	98
18	Riacho do Emídio	1,900	1,821	96
19	Massaranduba	1,785	1,690	95
20	Serra Redonda	1,805	1,720	95

Tabela 6 - Relação entre a massa específica aparente seca máxima (g s.max.) e a massa específica aparente seca de campo (g s.) dos solos das barragens, conforme a presente pesquisa.

G.C.(%) = grau de compactação.

ral, as barragens apresentam um grau de compactação abaixo das condições mínimas desejáveis para barragens deste porte, apesar de existir, uma razoável consistência entre os dados de massa específica aparente seca máxima, determinada através de ensaios de compactação em laboratório e os dados de densidade aparente seca obtidos de amostras retiradas dos blocos indeformados.

4.6 Resultados dos Ensaios de Limites de Atterberg, Granulometria e a Classificação dos Solos.

A Tabela 7 apresenta os resultados dos limites de liquidez (LL), índice de plasticidade (IP), granulometria e a classificação unificada resultante, para os solos utilizados nas barragens selecionadas, conforme dados dos projetos originais. A Tabela 8 apresenta os resultados dos mesmos parâmetros, obtidos na presente pesquisa.

Como se observa, as granulometrias obtidas na presente pesquisa assemelham-se com às dos projetos originais, exceto para os solos das barragens de São José, Santo Antonio, Pocinhos, Serra Vermelha I, Serra Branca II e Curimatá, que apresentam uma granulometria mais fina do que nos resultados da pesquisa. Este aspecto pode, até certo ponto, ser atribuído ao fato do material coletado no maciço das barragens, ter sofrido um processo de compactação durante a sua execução.

BARRAGENS		PENEIRAS (% PASSANDO)							LL	IP	SUCS
No.	NOME	1"	3/8"	4"	10"	40"	80"	200"			
01	São José	100	100	100	99	82	68	55	29,5	9,5	CL
02	Serra Vermelha I	100	100	99	95	83	70	58	29,0	10,0	CL
03	Frutuoso II	100	97	94	87	70	58	46	28,0	8,0	SC
04	Queimadas	100	100	100	98	85	73	61	27,0	13,0	CL
05	Bom Jesus	100	95	89	85	69	48	40	37,0	12,0	SM
06	Albino	100	98	92	89	80	52	46	29,0	9,0	SC
07	Martelo	100	99	92	77	54	45	36	36,0	21,0	SC
08	Salitre	100	99	90	87	78	48	39	36,0	16,0	SC
09	Pocinhos	100	95	91	85	77	63	53	23,0	6,0	ML-CL
10	Santo Antonio	100	99	92	86	78	68	60	24,0	10,0	CL
11	Serra Branca II	100	100	97	95	89	78	63	27,0	8,0	CL
12	Cordeiro	100	99	97	78	63	50	42	28,0	9,0	SC
13	Curimatá	100	99	98	96	81	69	51	33,0	15,0	CL
14	Boa Vista	100	99	95	91	83	71	60	34,0	15,3	CL
15	Craibeiras	100	99	98	94	82	47	36	NL	NP	SM
16	Poleiros	100	96	91	85	74	61	42	28,0	8,0	SC
17	Araçagi	100	100	99	98	72	49	43	29,3	12,3	SC
18	Riacho do Emídio	100	100	97	94	87	59	40	29,0	11,0	SC
19	Massaranduba	100	95	93	88	68	52	41	40,0	14,0	SM-SC
20	Serra Redonda	100	97	88	76	52	38	32	NL	NP	SM

Tabela 7 - Resultados da granulometria, LL e IP e a classificação dos solos conforme dados dos projetos originais.

BARRAGENS		PENEIRAS (% PASSANDO)							LL	IP	SUCS
No.	NOME	1"	3/8"	4"	10"	40"	80"	200"			
01	São José	100	95	89	82	70	61	49	29,1	10,9	SC
02	Serra Vermelha I	100	99	98	85	46	37	27	29,2	9,6	SC
03	Frutuoso II	100	96	93	88	68	57	44	28,4	8,2	SC
04	Queimadas	100	95	92	90	81	69	58	27,0	13,3	CL
05	Bom Jesus	100	91	88	87	71	45	36	32,2	5,0	SM
06	Albino	97	93	90	88	76	50	42	41,0	19,0	SC
07	Martelo	100	97	93	87	78	53	40	NL	NP	SM
08	Salitre	98	96	94	92	81	46	32	29,8	9,0	SC
09	Pocinhos	100	90	84	75	50	36	29	28,0	11,0	SC
10	Santo Antonio	100	97	90	79	45	31	23	NL	NP	SM
11	Serra Branca II	100	98	96	86	65	40	30	22,6	8,5	SC
12	Cordeiro	96	91	87	82	64	45	36	27,6	11,4	SC
13	Curimatá	75	72	66	61	44	29	25	33,6	12,8	SC
14	Boa Vista	100	97	95	93	86	72	56	36,4	15,9	CL
15	Craibeiras	100	94	89	82	69	38	25	NL	NP	SM
16	Poleiros	100	97	95	91	73	52	38	32,2	17,2	SC
17	Araçagi	100	97	92	87	77	68	59	33,0	16,0	CL
18	Riacho do Emídio	100	95	93	90	67	49	38	32,5	14,5	SC
19	Massaranduba	100	99	98	96	75	56	46	40,0	14,2	SM-SC
20	Serra Redonda	100	93	89	81	56	34	23	NL	NP	SM

Tabela 8 - Resultados da granulometria, LL e IP e a classificação dos solos conforme a presente pesquisa.

No que se refere ao LL e IP, os resultados obtidos na presente pesquisa, são praticamente iguais aos resultados dos projetos originais, exceto os solos das barragens Bom Jesus, Albino, Martelo, Salitre, Pocinhos, Santo Antonio e Poleiros.

A maioria dos solos apresenta índice de plasticidade baixo devido à sua granulometria correspondente conter pouco material fino.

Os solos quanto à sua classificação, apresentam uma boa semelhança entre a presente pesquisa e os projetos originais, exceto os solos das barragens São José, Serra Vermelha I, Pocinhos, Santo Antonio, Serra Branca II, Curimatá e Araçagi. Conforme observado, a maioria dos solos estudados e utilizados no maciço das barragens selecionadas, pertencem ao grupo "SC", do "Sistema Unificado de Classificação dos Solos", que são solos denominados de areno-silto-argiloso, justificando-se a sua média permeabilidade determinada "in-situ".

4.7 Posição da Linha Frática

O **Anexo 1** apresenta as seções transversais das barragens selecionadas, nas quais são mostradas as posições da linha freática, traçadas com as utilizações das relações de permeabilidades vertical e horizontal, conforme os dados obtidos dos projetos originais e os obtidos na presente pesquisa, respectivamente. Também é mostrada a posição do nível d'água, determinada nos furos de sondagens à percussão, após 24 horas da realização dos ensaios.

Como se observa, as posições das linhas freáticas, são quase coincidentes, tanto nas barragens com filtro tipo tapete, tipo chaminé ou de barragem sem filtro.

A linha freática encontrada através das sondagens a percussão, indica a posição real do nível da água (N.A), percolado através do maciço das barragens.

As barragens Serra Redonda, Pocinhos, Serra Branca II e Craibeiras por não terem filtro, a linha freática percola na superfície do talude jusante provocando um vazamento de água e conseqüentemente escorregamento e carreamento de material, comprometendo desta feita, a estabilidade das barragens.

Como é observado no **Anexo 1**, as barragens sem filtro estão sendo submetidas a uma reforma e conseqüente constru-

ção dos referidos filtros para facilitar a percolação da água pelo maciço.

Finalmente, com relação ao programa de visitas às barragens, foi constatado que em todas as barragens não existe um sistema adequado de manutenção de maneira a manter o maciço nas condições mínimas necessárias aos seus bons funcionamentos.

4.8. Resultados do Estudo da Estabilidade das Barragens.

A Tabela 9 apresenta os valores dos coeficientes de segurança F, calculados para os taludes de montante e jusante, das barragens selecionadas, para a fase de final de construção.

Para cada talude são mostrados os resultados dos coeficientes de segurança (F) críticos isto é, menor coeficiente encontrado, determinados com os parâmetros obtidos dos projetos originais e com os obtidos durante a realização da pesquisa, respectivamente.

Conforme se observa na referida tabela, o fator de segurança (F), calculado conforme parâmetros estudados na presente pesquisa, assemelham-se, com pequenas diferenças, com os resultados dos projetos originais. No entanto, as barragens Serra Vermelha I, Martelo, Serra Branca II, Boa Vista, Craibeiras, Araçagi, Riacho do Emídio e Serra Redonda apresentam uma diferença entre si de até 400 %.

As barragens Pocinhos, Santo Antonio, Serra Branca II, Craibeiras e Serra Redonda, apresentam um coeficiente de segurança (F) com os seguintes valores de 1,35, 1,30, 1,40, 1,46 e 1,38, respectivamente. Como se observa, estes valores são menores do que 1,5 mas estão no limite mínimo aceitável de estabilidade, para a fase de final de construção,

BARRAGENS		Montante		Jusante	
No.	NOME	PROJETO	PESQUISA	PROJETO	PESQUISA
01	São José	2,58	2,43	2,88	2,75
02	Serra Vermelha I	2,96	1,89	5,18	2,51
03	Frutuoso II	1,74	1,68	2,06	2,29
04	Queimadas	3,20	2,93	2,18	2,10
05	Bom Jesus	3,80	3,01	3,79	2,90
06	Albino	4,10	3,54	3,85	3,37
07	Martelo	4,68	1,57	4,21	1,90
08	Salitre	4,36	2,93	2,84	2,47
09	Pocinhos	1,98	2,16	* 1,40	* 1,35
10	Santo Antonio	3,09	2,34	* 1,36	* 1,30
11	Serra Branca II	3,34	1,52	3,07	* 1,40
12	Cordeiro	3,09	2,81	2,36	2,15
13	Curimatá	2,55	3,19	2,29	3,11
14	Boa Vista	10,41	3,87	7,47	3,28
15	Craibeiras	1,92	* 1,30	2,35	* 1,46
16	Poleiros	2,97	2,20	3,37	2,50
17	Araçagi	6,08	3,95	4,73	3,17
18	R. do Emídio	5,65	2,93	5,87	3,15
19	Massaranduba	2,41	1,80	2,37	2,07
20	Serra redonda	4,4	* 1,16	5,54	* 1,38

Tabela 9 - Coeficientes de segurança (F), determinados com os parâmetros obtidos dos projetos originais e com os obtidos na presente pesquisa, para a final de construção em termos de tensões totais.

(*) - indica um coeficiente de segurança abaixo de 1,5.

além do fato das condições, hoje, das barragens serem diferentes, haja visto que as barragens já devem estar com suas redes de fluxo formadas.

A **Tabela 10** apresenta os resultados dos coeficientes de segurança (F), calculados utilizando-se os parâmetros obtidos na presente pesquisa, de cinco barragens representativas, através de ensaios triaxial CD, (consolidado e drenado).

Observa-se como era esperado, que o fator de segurança (F), calculado para a fase de reservatório cheio apresenta um valor menor do que o (F) para a fase final de construção. Nota-se, outrossim, que as barragens sem filtro apresentam um fator de segurança (F), abaixo de 1,5 (normalmente um valor mínimo recomendado). Por outro lado não se pode afirmar categoricamente que tais resultados comprometam as seguranças das barragens, uma vez que segundo Sherard et alii (1963), o valor do coeficiente de segurança igual à 1,3 pode ser um valor mínimo aceito, além do fato de que um coeficiente menor que um valor mínimo adotado, não significa necessariamente que a barragem irá romper. Estes baixos coeficientes podem, em alguns casos, serem provenientes dos parâmetros e considerações adotadas.

De um modo geral o estudo da estabilidade indica que as barragens selecionadas são consideradas estáveis.

BARRAGENS		F	
No.	NOME	Montante	Jusante
11	Serra Branca II	2,20	* 1,38
16	Poleiros	3,15	1,56
17	Araçagi	5,80	2,04
19	Massaranduba	2,61	1,79
20	Serra Redonda	1,95	* 1,28

Tabela 10 - Coeficiente de segurança (F), conforme parâmetros obtidos na present pesquisa, para período de reservatório cheio, em termos de tensões efetivas.

(*) - indica um coeficiente de Segurança, F, menor que 1,5.

As barragens Craibeiras e Serra Redonda estão em processo de recuperação, em virtude de problemas técnicos, o que corrobora, de certo modo, com os resultados encontrados pela presente pesquisa, indicando um coeficiente de segurança abaixo do normalmente aceito.

CAPÍTULO V

5- CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais e in-situ, das características geotécnicas das barragens de terra, estudadas na presente pesquisa pode-se formular as seguintes conclusões:

- o material utilizado no maciço das barragens apresenta grande porcentagem de finos e conforme o "Sistema Unificado de Classificação dos Solos" pertence ao Grupo "SC" (areia silte argilosa). O índice de plasticidade determinado na presente pesquisa está em torno de 12 %, estando de acordo com os dados dos projetos originais. Observa-se entretanto que os solos das barragens Martelo e Santo Antonio também não apresentam plasticidade na presente pesquisa, mas tem IP = 21 e 10 respectivamente nos dados dos projetos. Isto devido provavelmente que o solo utilizado no maciço das barragens é diferente do solo estudado nos projetos.

- a permeabilidade estudada na presente pesquisa apresenta um valor médio de 10^{-9} cm/s, tanto em laboratório como nos ensaios in-situ, enquanto a permeabilidade nos projetos originais está em torno de 10^{-6} cm/s;

- a compactação do solo do maciço da maioria das barragens, não corresponde à compactação recomendada pelo laboratório, exceto as barragens Frutuoso II, Santo

Antonio, Poleiros, Araçagi e Riacho do Emídio, apresentam um grau de compactação acima de 96 %. Portanto o grau de compactação encontrado indica que aparentemente que não houve um controle à altura.

- Na maioria das barragens estudadas não existe discrepância dos dados dos projetos originais com aqueles determinados na presente pesquisa;

- as barragens construídas sem filtro apresentam percolação de água no talude de jusante, provocando erosão superficial, fissuramento e escorregamento;

- com relação ao programa de visitas às barragens, pode-se constatar que todas as barragens selecionadas para a presente pesquisa apresentam falta de manutenção;

- o coeficiente de segurança F, calculado, conforme parâmetros estudados na presente pesquisa, situou-se próximo dos valores dos projetos originais, exceto as barragens Serra Vermelha I, Martelo, Serra Branca II, Boa Vista, Craibeiras, Araçagi, Riacho do Emídio e Serra Redonda, os quais diferem entre si de 50 a 400 %. As barragens Pocinhos, Craibeiras, Serra Branca II, Santo Antonio e Serra Redonda apresentam um coeficiente de segurança em torno de 1,3;

- as barragens de Craibeiras e Serra Redonda estão em processo de recuperação devido à ocorrência de problemas técnicos, como percolação da água pelo talude de jusante, escorregamento de material e falta de manutenção.

C A P I T U L O V I

6. Sugestões para Pesquisas Futuras.

Após conclusão da presente pesquisa, permitiu-se formular algumas sugestões para novas pesquisas.

- analisar a estabilidade das barragens de terra no estado da Paraíba, utilizando um número maior de amostragem tanto in-situ quanto em laboratório;

- ampliar este estudo para um número maior de barragens;

- desenvolver um cadastro geral das barragens construídas;

- elaborar um programa de instrumentação em barragens, principalmente naquelas que apresentaram problemas, o que permitirá uma análise de comportamento com bastante segurança;

- sugerir ao governo do estado elaborar um programa de manutenção para as barragens no que concerne a replantação de grama nos taludes de jusante, limpeza e recuperação das calhas drenantes e construção de meio-fios para facilitar o escoamento da água na superfície do maciço das barragens.

B I B L I O G R A F I A.

- BADILLO, E. J. e RODRIGUES, A. R. " Mecánica de Suelos"
3 ed. México, vol 2, Limusa, 1976.
- BISHOP, A.W. " The Use of The Slip circle in The Stabi-
lity Analysis of Slope". Geotechnique, Londres, 1955.
- BISHOP and HENKEL "The Measurement of Soil Properties in
The Triaxial Test". Eduward Arnold Ltd. Londres, 1982
- BLOOMFIELD, N. J. T. e outros. "Levantamento Explorató-
tório-Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba".
Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, EPF- Mi-
nistério da Agricultura. Boletim Técnico No. 5, Tomo
I, Rio de Janeiro, RJ, 1972.
- CAPUTO, H. P. " Mecánica dos solos e suas aplicações".
5a. ed. Livros Técnicos e Científicos Editora S/A.
V.2, 1983, Rio de Janeiro, RJ.
- CARVALHO, L. H. de " Curso de Barragens de Terra, com
Vistas ao Nordeste Brasileiro" V.1. DNOCs-MI, Forta-
leza, 1983.
- CASAGRANDE, A. " Classification and Identification of
Soils". Proc. Am. Soc. Civ. Eng., 1948.

- CDRM, " Mapa Geológico do Estado da Paraíba". Escala 1:500.000 , 1982.
- CEDERSTROM, D.J. " Agua Subterranea". Uma Introdução USAID, Rio de Janeiro, RJ. 1964.
- COSTET, J. e SANGLERAT, G. " Curso prático de Mecânica de Suelos". Barcelona, Omega, 1975, 653 p.
- CRUZ, P. T. da (1980). " Estabilidade de Taludes". Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP.
- DEMARTINECOURT, J.P. e BEZERRA, R. L. "Projeto e Prática de Barragens de Terra". I Jornada de Geologia de Engenharia e Mecânica dos Solos. CCEN e CTEC, Macaíó, 1987.
- DNOCS, Departamento Nacional de Obras Contra a Seca.
- ESTEVEZ, V. P. " Barragens de Terra ". 2a. ed. Escola la Politécnica, 1971, Campina Grande, Pb. 300 p.
- FELLENIOUS, W. " Calculation of Stability of Earh Dams". Trans. 2nd. Congress on Large Dams, Stockholm, 1936.
- FLOYD, E.D. "Design of Smal Dams". Bureau of Reclamation. United States Department of the Interior, Washington 1965.

- GAMA, C.D. da, "Avaliações Probabilísticas da Estabilidade de Taludes", em: VII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, Recife, V.1, Setembro, 1982.
- Guidicini, G. & Nieble, C. M. "Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação". Ed. Edgard Blucher, São Paulo, 1976.
- HERNANDEZ, J.L.R. "Manual de Tierras". Bureau of Reclamation. Editorial Técnica Bellisco. Madrid, 1980.
- JUMIKIS, A. R. "Introduction to Soil Mechanics". D. Van Nostrand Company, N. York. 1967.
- LAMBE, T. W. e WHITMAN, R. V. "Soil Mechanics". New York, John Wiley and Sons, 1969, 553 p.
- LIMA, M. J. P. A. de, "Prospecção Geotécnica do sub-solo" Livros Técnicos e Científicos Editora S/A. Rio de Janeiro, RJ. 1979.
- LOWE, J. III and Karafiath, L., 1960. "Stability of Earth Dams upon Drawdown". Proc. Ist Pan-Am. Conf. Soil Meck. Found. Eng. (México), Vol. II pp 537-560.
- LUCENA, F. B. de e CARVALHO, L. H. de "Ruptura Provável de uma Barragem de Terra, Anulada pela Qualidade do Material Utilizado". VIII Congresso Brasileiro de

- Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações, ABMS. Vol. IV, Porto Alegre, Out/86 pp 123-135.
- MELO, V.F.B. de "Thoughts on Soil Engineering Aplicable to Residual Soils". in Southeast Asian Conference, 3 Proceedings Hong Kong, 1972.
- MORAES JUNIOR, L. J. "Algumas Considerações Práticas a Respeito da Análise de Estabilidade de Taludes" Rio de Janeiro, UFRJ, 1975, 106p, (Tese de Mestrado).
- MOREIRA, J. E. "Estabilidade de Taludes de Solos Residuais de Granito e Gnaisse" Rio de Janeiro, UFRJ, 1974, 86p (Tese de Mestrado).
- MORGENSTERN, N. R. e PRICE, V. E. "The Analysis of the Stability of General Slip Surface" Geotechniques, 13: 79-93, 1965.
- PECK, R. B. "Stability of Natural Slopes" Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 93 (SM 4): 403-417 July 1967.
- ROGERIO, P. R. "Cálculo da Estabilidade de Taludes pelo Método de Bishop Simplificado". Ed. Edgard Blucher Ltda., 1977, 153p, São Paulo, SP.
- SHERARD J. L., WOODWARD J.R., GIZIENSKI F.S. e CLEVINGER W.A., 1963, Earth-Rocks Dams, John Wiley and Sons.Inc. London.

- SILVA, J. B. da, 1986, "Apresentação de uma Metodologia para estudar a Influencia de Chuvas Abundantes sobre a Estabilidade de Pequenas Barragens de Terra. Campina Grande, Pb. UFPb (Tese de Mestrado).
- SKEMPTON, A. W. "The Pore Pressure Coeficients A and B" Geotechnique, 4, Londres, 1954.
- SOUZA, J. L.de, "Análise da Estabilidade de Taludes, Princípios Básicos, Alguns Métodos e Exemplos. Campina Grande Pb. UFPb, 1980 (Tese de Mestrado).
- SOARES, M. M. & MARANHÃO, N. "Estudo Comparativo de Alguns Métodos de Análise da Estabilidade de Taludes" in: Simpósio Sobre Sistemas Computacionais para Engenharia Civil. V. II, Rio de Janeiro, Dez. 1977.
- SUDENE, 1977, "Inventário Hidrológico Básico do Nordeste". Recife, Brasil.
- TERZAGHI, K. "Mecânica de Escorregamento de Terra" Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP. (1950).
- TERZAGHI, K. and PECK, R. B. "Mecânica dos Solos na Prática de Engenharia". Trad. por Antonio José da Costa Nunes e Maria de Lourdes C. Campelo. Rio de Janeiro, Livro Técnico, 1962, 659 p.

TERZAGHI and PECK, "Soil Mechanics in Engineering Practice". 2nd ed. New York., John Wiley and Sons, 1967, 729p.

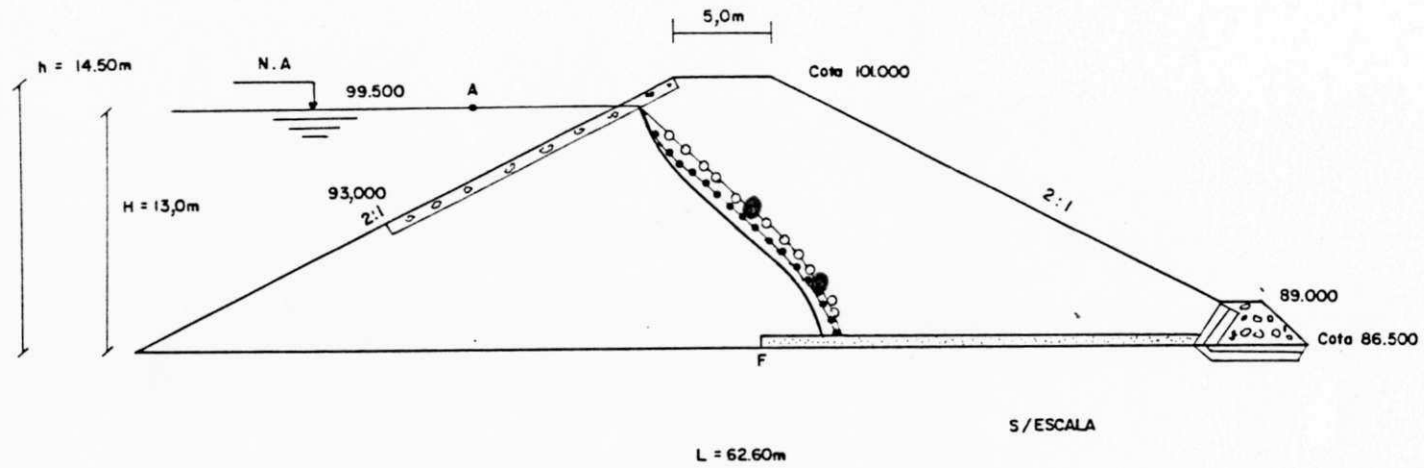
VARGAS, M. "Introdução à Mecânica dos Solos". ed. McGraw-Hill do Brasil Ltda., São Paulo, SP. 1978.

VELLOSO, D. A. "Obras de Terra sobre Solo Compressível" Revista do Club de Engenharia. (252): 21-23, 1957.

A N E X O 1

BARRAGEM SÃO JOSÉ
Município de S. José de Piranha — PB.

SEÇÃO NORMAL



S/ESCALA

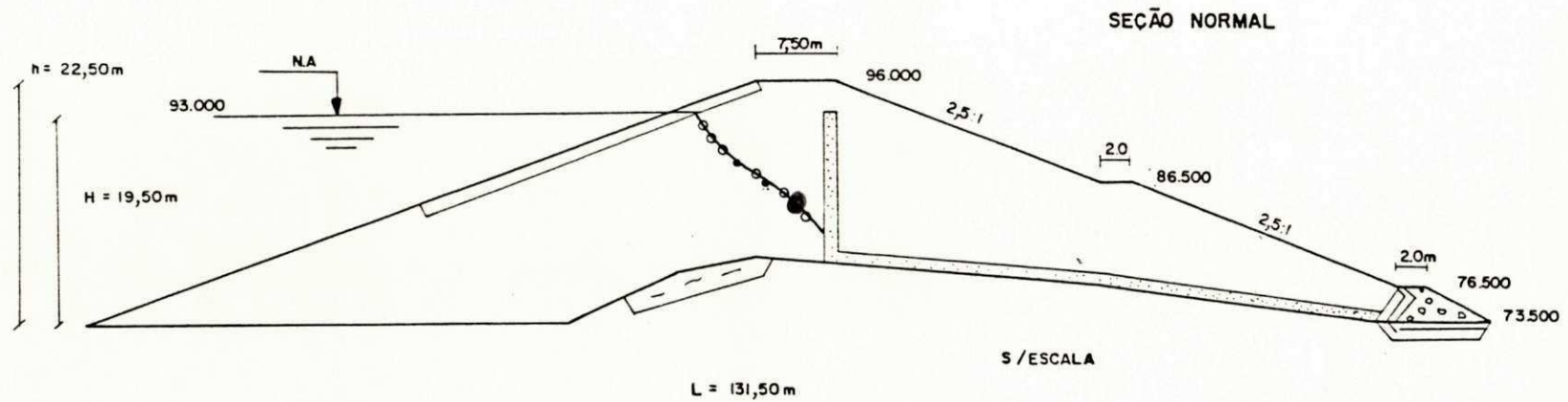
FIGURA I

LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidades In-Situ
- Conforme projeto original
- Conforme furos de sondagens à percussão
- FURO DE SONDAGEM

BARRAGEM SERRA VERMELHA I

Município de Conceição — PB



LEGENDA

Linha freática

— Conforme permeabilidades
In-Situ

●●●● Conforme Projeto original

○-○-○ Conforme furos de sondagem
a percussão

● FURO DE SONDAAGEM

FIGURA 2

BARRAGEM FRUTUOSO II

Município de Aguiar — PB

SEÇÃO NORMAL

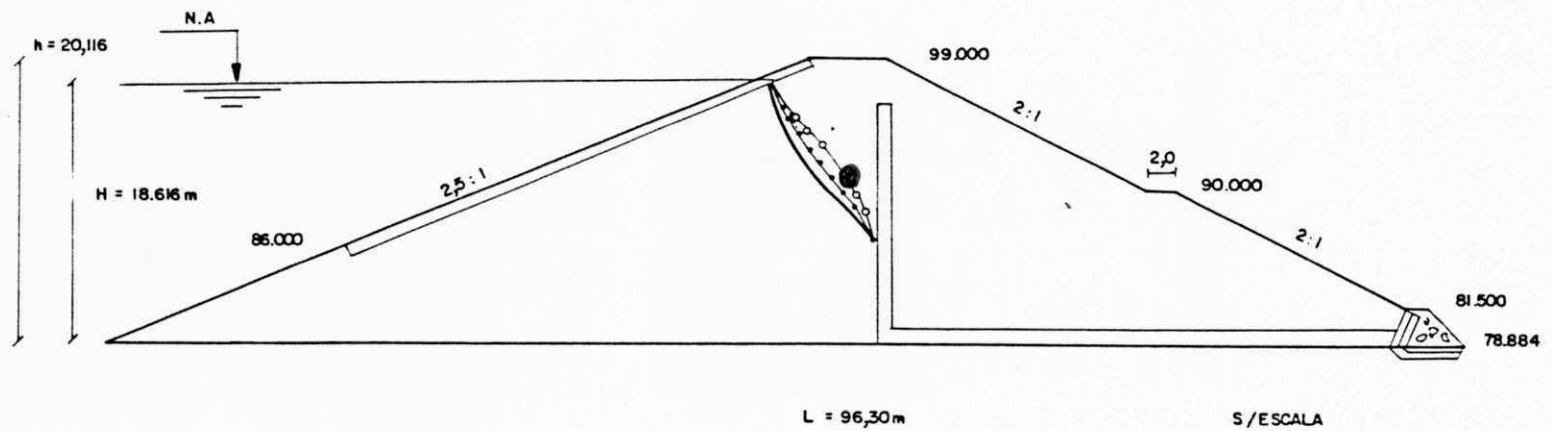


FIGURA 3

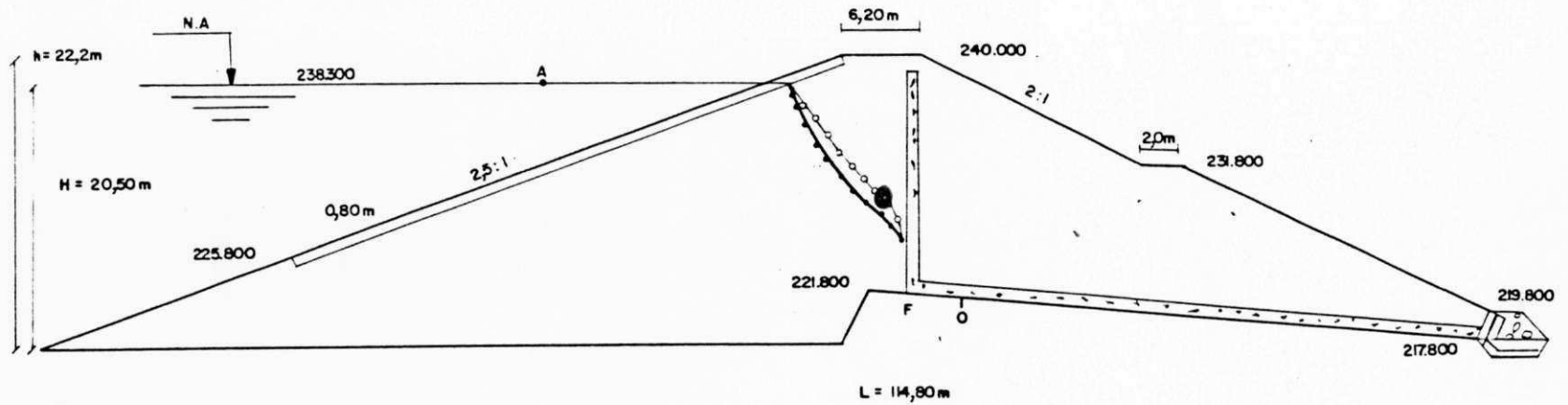
LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidades In-Situ
- Conforme Projeto original
- Conforme furos de sondagem à percussão
- FURO DE SONDA GEM

BARRAGEM QUEIMADAS

Município de Santana dos Garrotes - PB

SEÇÃO NORMAL



S/ESCALA

FIGURA 4

LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidades In-Situ
- Conforme projeto original
- Conforme furo de sondagem à percussão
- FURO DE SONDAGEM

BARRAGEM BOM JESUS
Município de Água Branca — PB

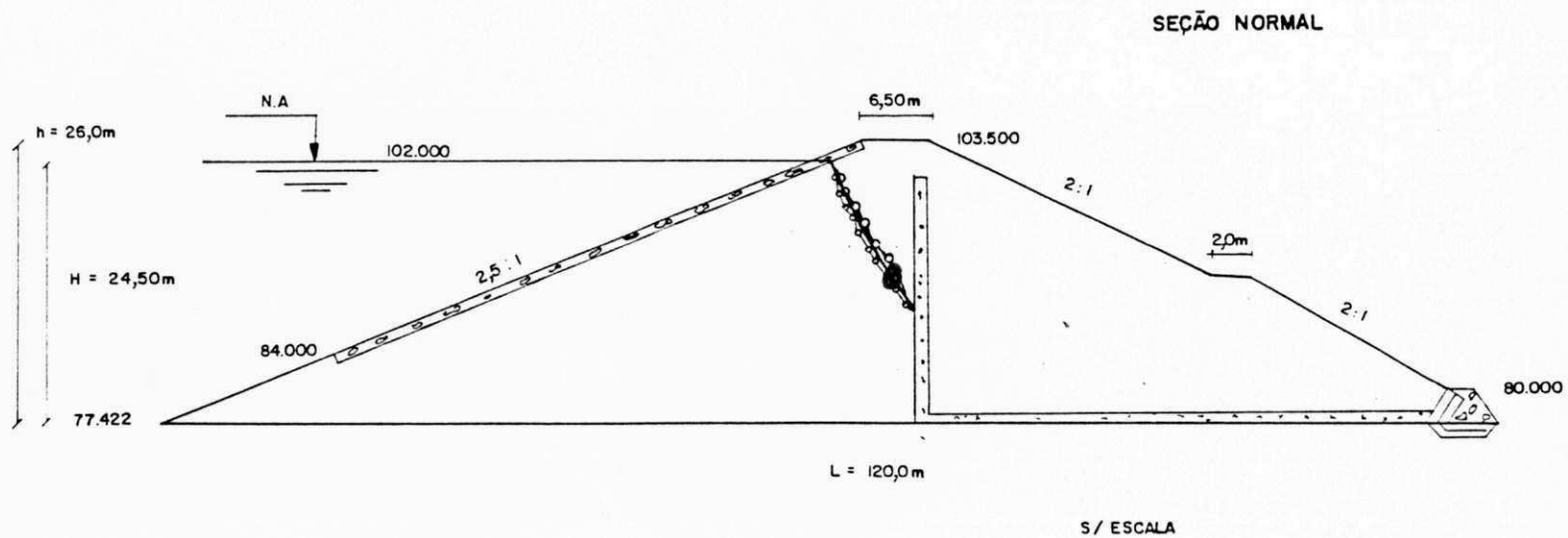


FIGURA 5

LEGENDA

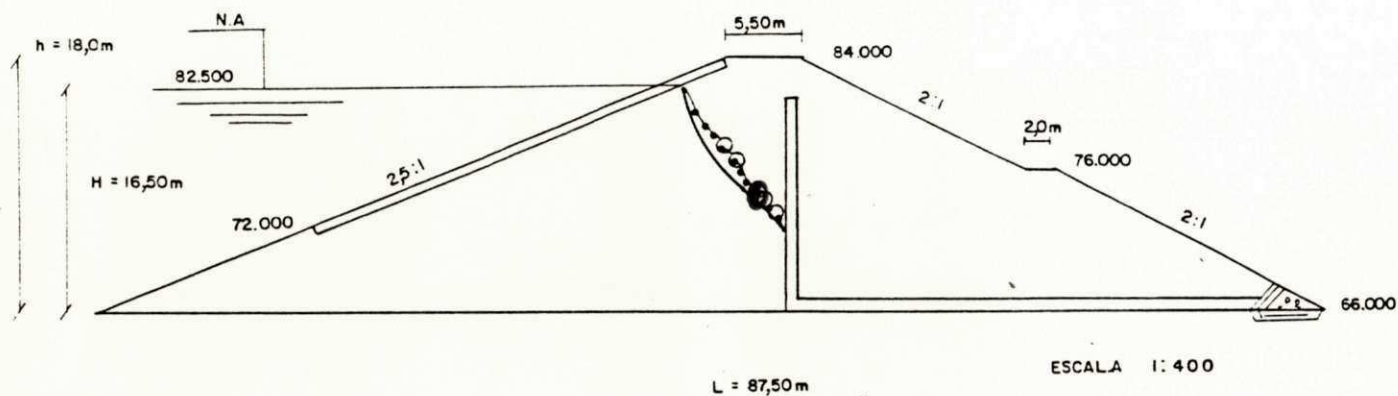
- Linha freática
- Conforme permeabilidade In-Situ
- Conforme projeto original
- Conforme furos de sondagem à percussão

● FURO DE SONDAAGEM

BARRAGEM ALBINO

Município de Imaculada — PB

SECÃO NORMAL



ESCALA 1:400

FIGURA 6

LEGENDA

Linha freática

— Conforme permeabilidade in-Situ

-●-●- Conforme projeto original

-○-○- Conforme furos de sondagem à percussão

● FURO DE SONDAAGEM

BARRAGEM MARTELO
Município de São Mamede — PB

SEÇÃO NORMAL

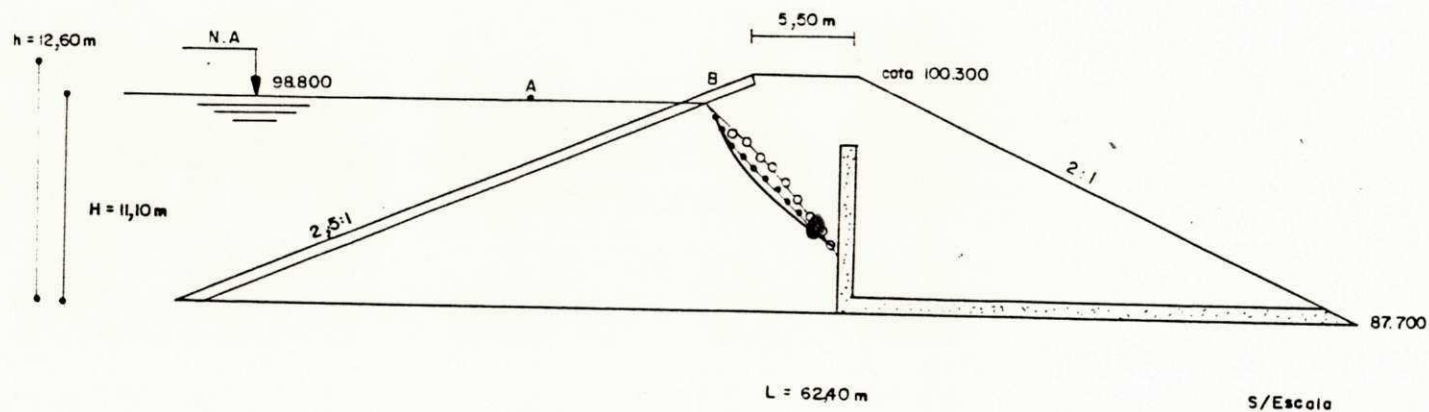


FIGURA 7

LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidade In-Situ
- - - Conforme projeto original
- ○ ○ Conforme furos de sondagem à percussão
- ⊙ FURO DE SONDAEM

BARRAGEM SALITRE
Município de Livramento — PB

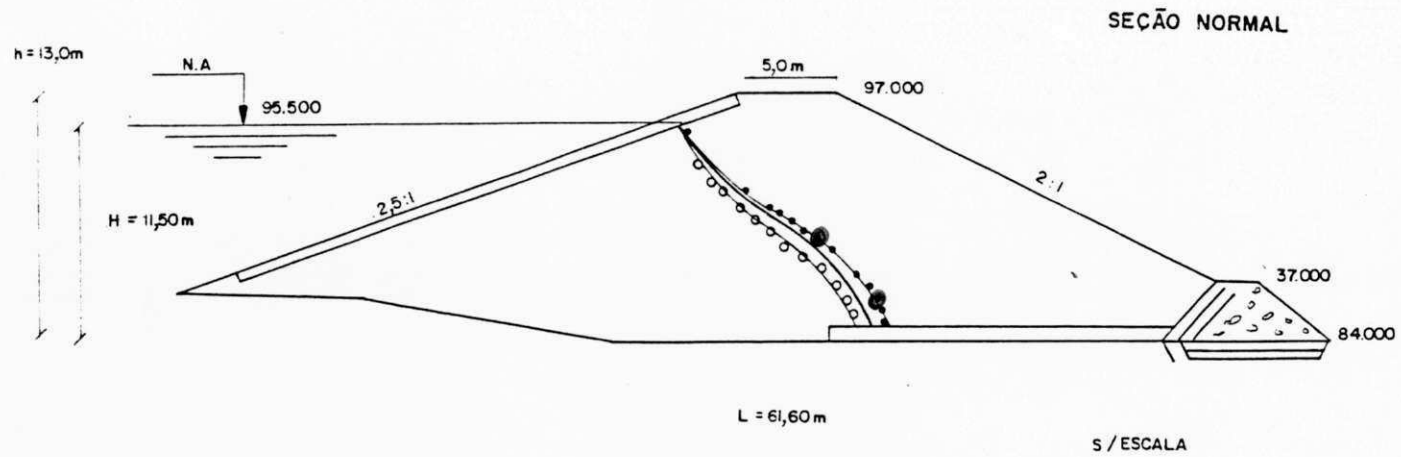


FIGURA 8

LEGENDA

Linha freática

— Conforme permeabilidades
In-Situ

●●●●● Conforme projeto original

○ ○ ○ ○ ○ Conforme furos de sondagem
à percussão

● FURO DE SONDAAGEM

BARRAGEM POCINHOS

Município de Monteiro — PB

SECÃO NORMAL

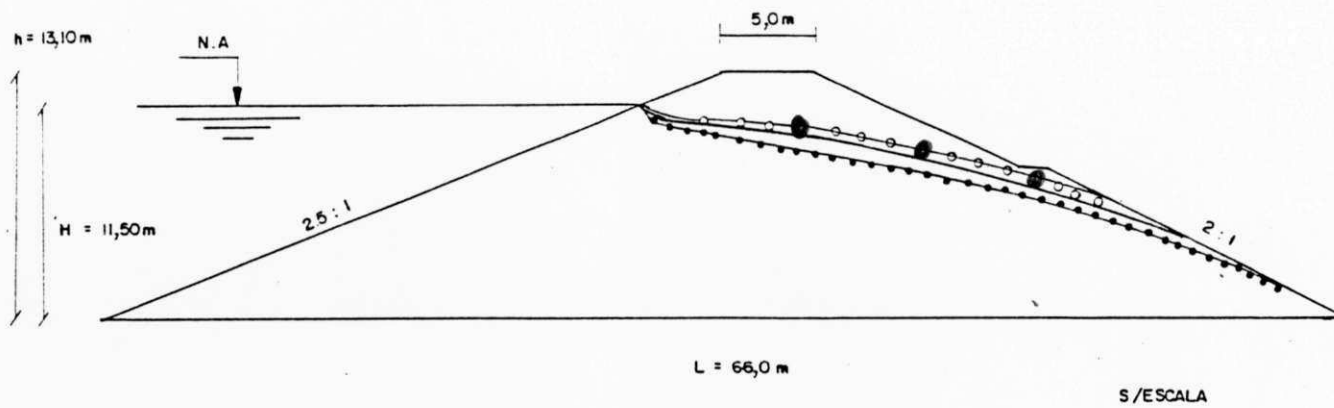


FIGURA 9

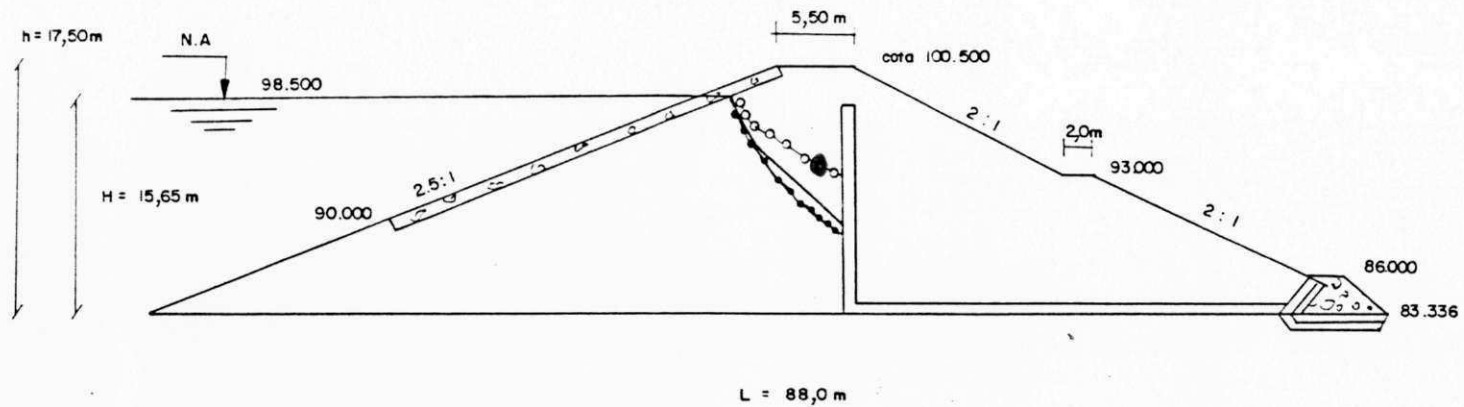
LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidades In-Situ
- Conforme projeto original
- Conforme furos de sondagem à percussão
- FURO DE SONDAAGEM

BARRAGEM STo. ANTONIO

Município de São Sebastião do Umbuzeiro — PB

SEÇÃO NORMAL



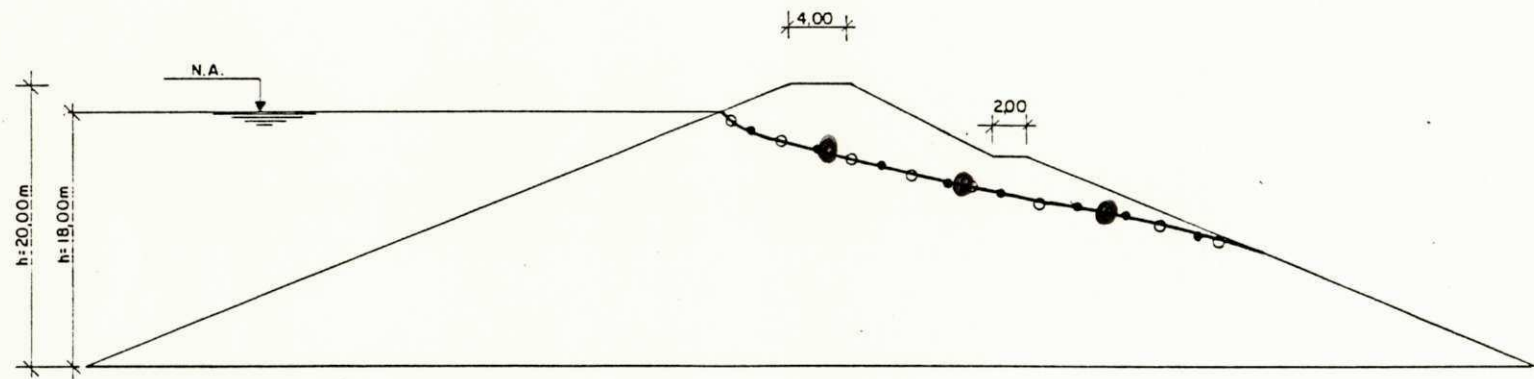
5/ESCALA

LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidades In-Situ
- - - Conforme projeto original
- Conforme furos de sondagem à percussão
- FURO DE SONDAGEM

FIGURA 10

BARRAGEM SERRA BRANCA II



S/ESCALA

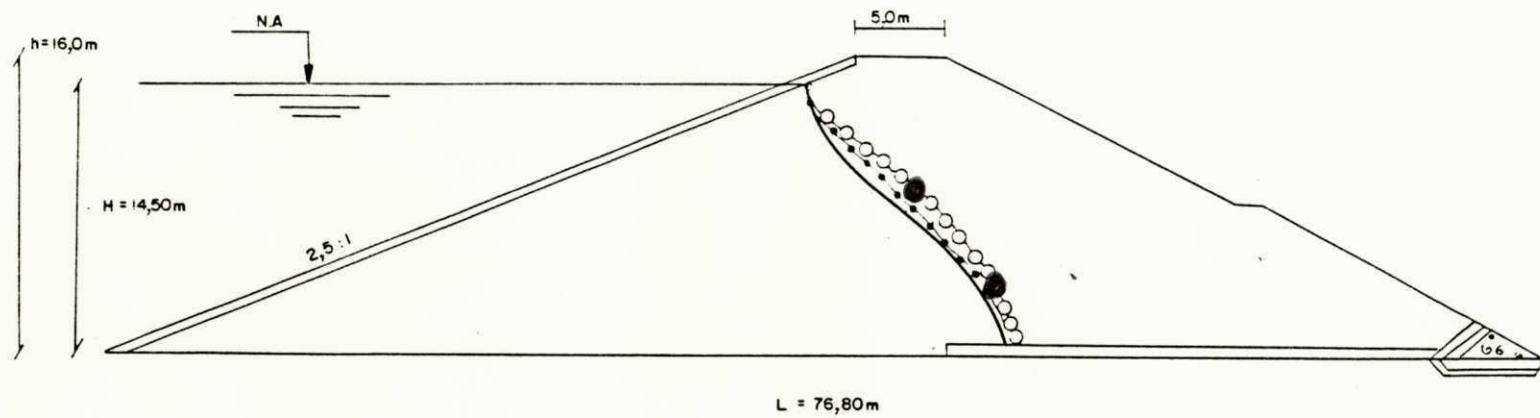
FIGURA 11

LEGENDA

- Linha freática
- Conforme projeto original
- Conforme furos de sondagem à percussão
- FURO DE SONDAAGEM

BARRAGEM CORDEIRO
Município de Congo — PB

SEÇÃO NORMAL



S/ESCALA

LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidades In-Situ
- - - Conforme projeto original
- ○ ○ Conforme furos de sondagem à percussão
- FURO DE SONDA GEM

FIGURA 12

BARRAGEM CURIMATÁ
Município: São João do Cariri-PB

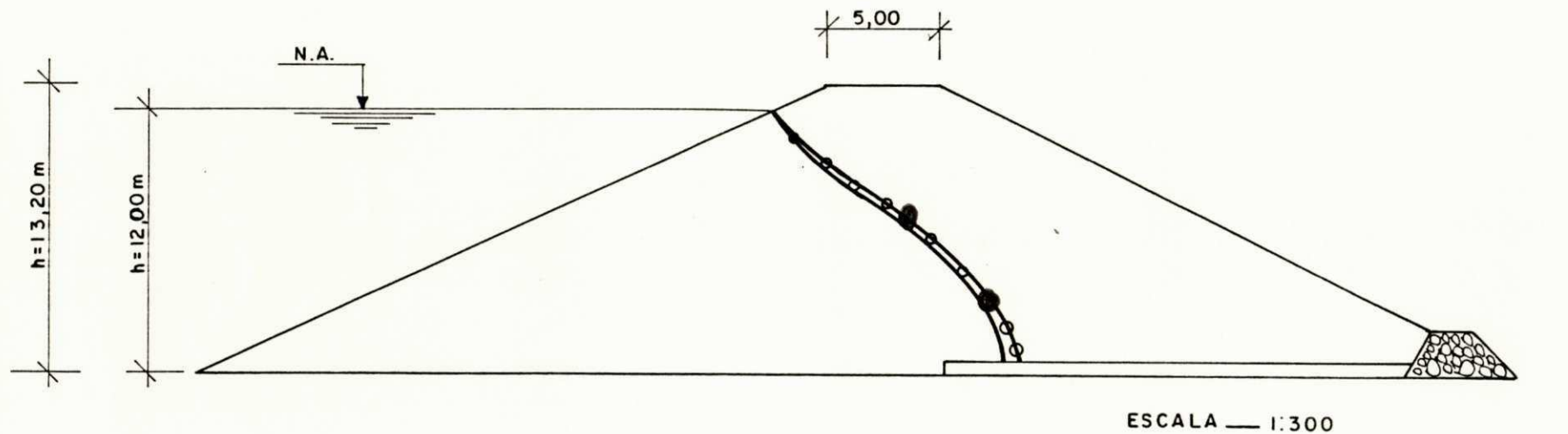


FIGURA 13

- Linha freática
- Conforme permeabilidades
- In-Situ
- ○ ○ Conforme furos de sondagem à percussão
- FUROS DE SONDAGEM

BARRAGEM BOA VISTA

Município de Campina Grande — PB

SEÇÃO NORMAL

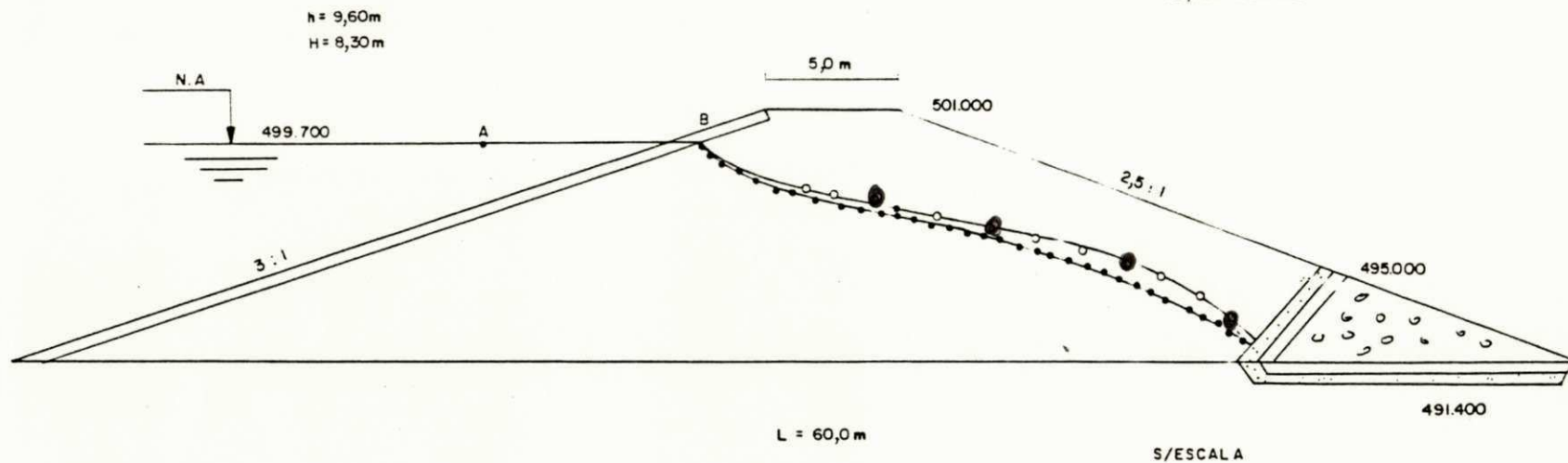


FIGURA 14

LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidades In-Situ
- Conforme projeto original
- Conforme furos de sondagem a percussão
- furos de sondagem

BARRAGEM CRAIBEIRAS
PICUI - PB

SEÇÃO NORMAL,
(APOS AMPLIAÇÃO)

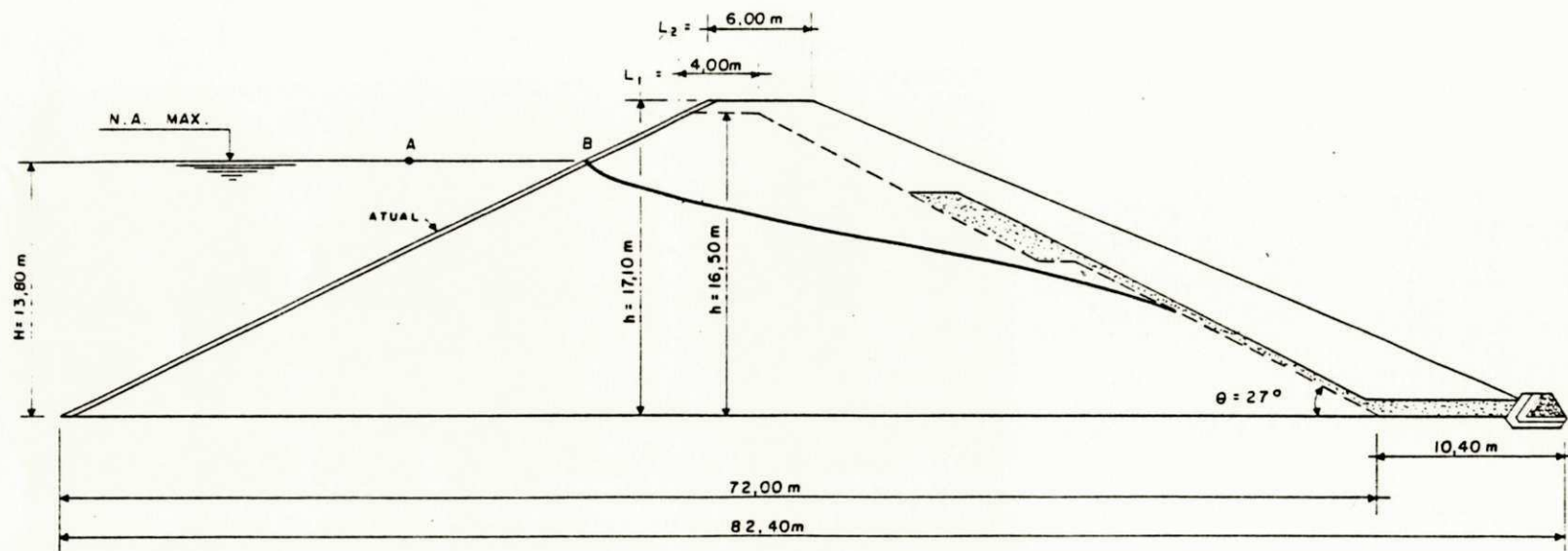


FIGURA 16

LEGENDA

— Linha freática
conforme a presente
pesquisa

S/Escala

BARRAGEM POLEIROS

Município de Barra de Santa Rosa - PB

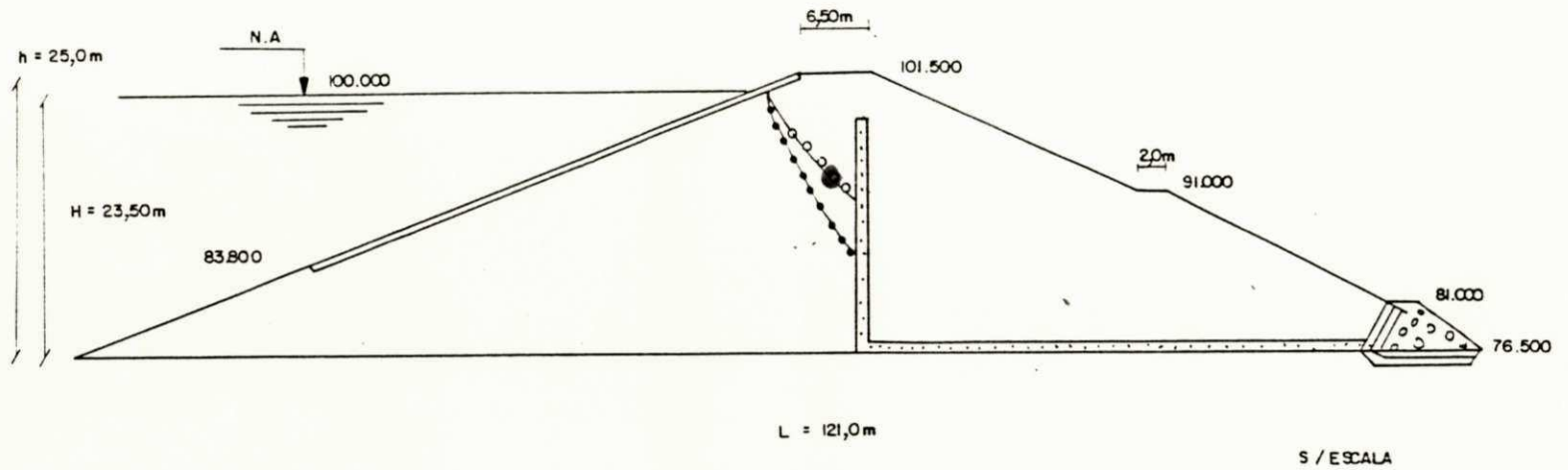


FIGURA 17

LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidades In-Situ
- Conforme projeto original
- o-o-o Conforme furos de sondagem à percussão
- furo de sondagem

BARRAGEM RIACHO DO EMÍDIO
Município : Montadas - PB

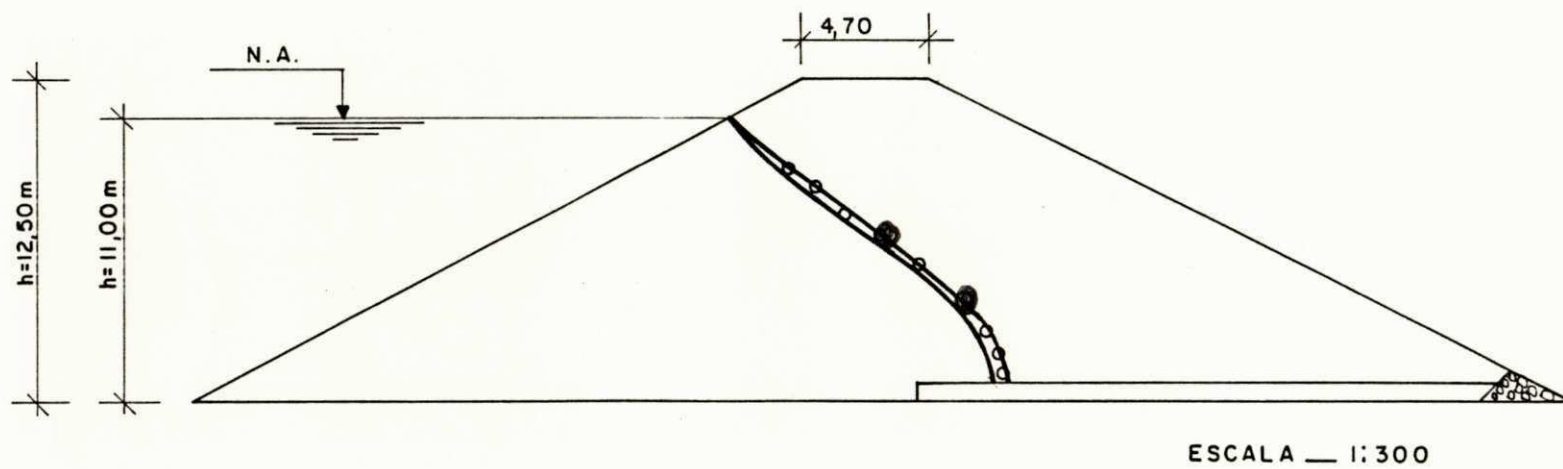


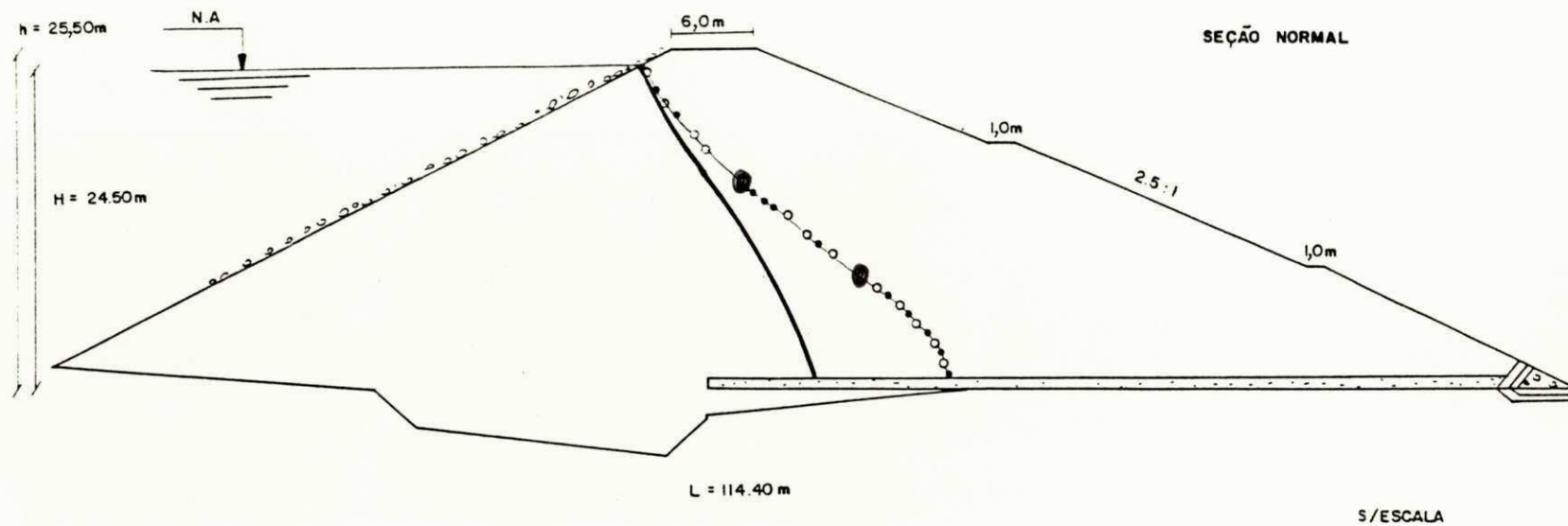
FIGURA 19

LEGENDA :

- Linha freática
- Conforme permeabilidades
- - - In-Situ
- ○ - ○ - ○ - Conforme furos de sondagem à percussão
- furos de sondagem

BARRAGEM MASSARANDUBA

Município de Massaranduba — PB



SEÇÃO NORMAL

S/ESCALA

LEGENDA

- Linha freática
- Conforme permeabilidades In-Situ
- - - Conforme projeto original
- o-o- Conforme furos de sondagens à percussão
- furos de sondagem

FIGURA 20

BARRAGEM SERRA REDONDA
SEÇÃO NORMAL, CONFORME PROJETO ORIGINAL

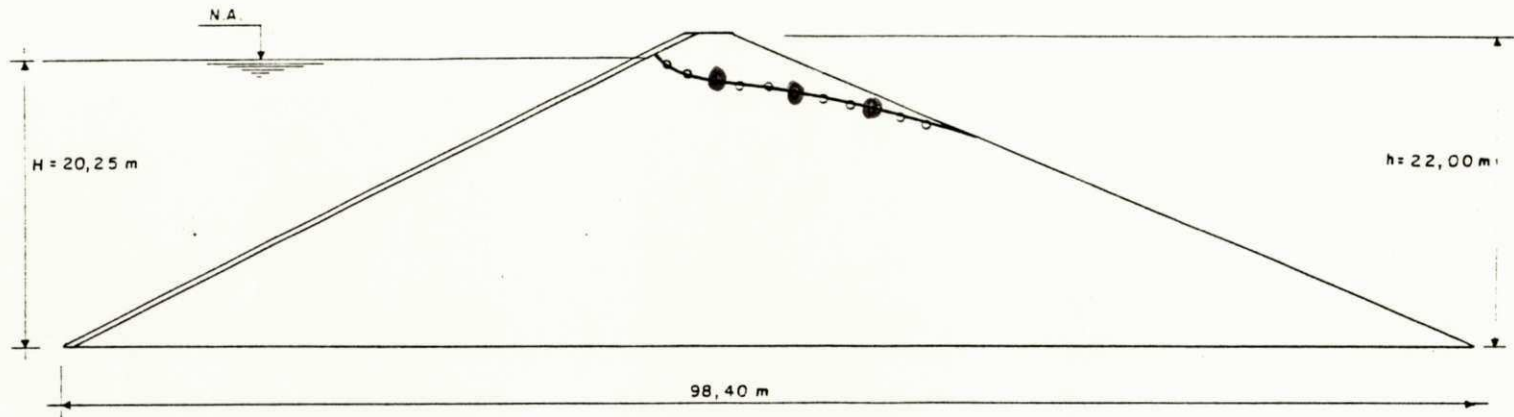


FIGURA 21

- S/Escala
- LEGENDA**
- Linha freática
 - Conforme furos de sondagens à percussão
 - furos de sondagem

BARRAGEM SERRA REDONDA

SEÇÃO NORMAL
(SITUAÇÃO ATUAL)

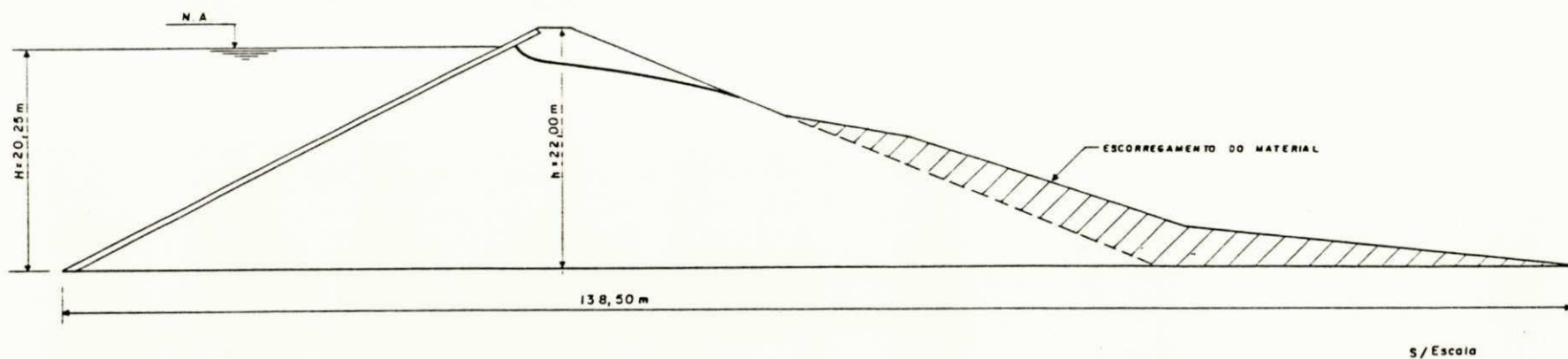


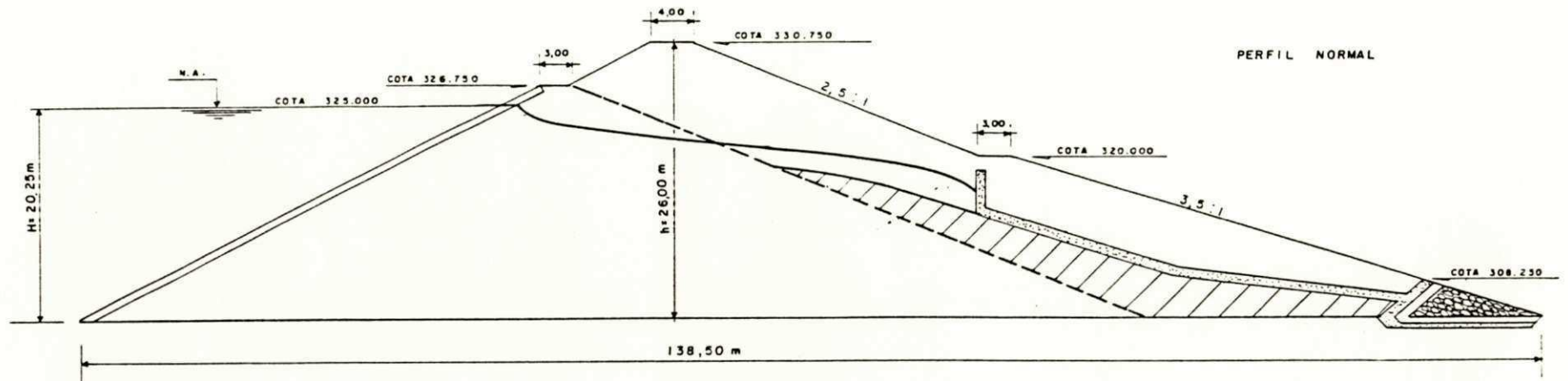
FIGURA 22

LEGENDA

- Linha freática conforme a presente pesquisa
- ▨ Material acumulado devido ao escorregamento

BARRAGEM SERRA REDONDA

SEÇÃO NORMAL APÓS AMPLIAÇÃO



LEGENDA

- Linha freatica conforme apresenta pesquisa
- - - Limite de ampliação

5/Escala

FIGURA 23

A N E X O 2

BARRAGEM SÃO JOSÉ

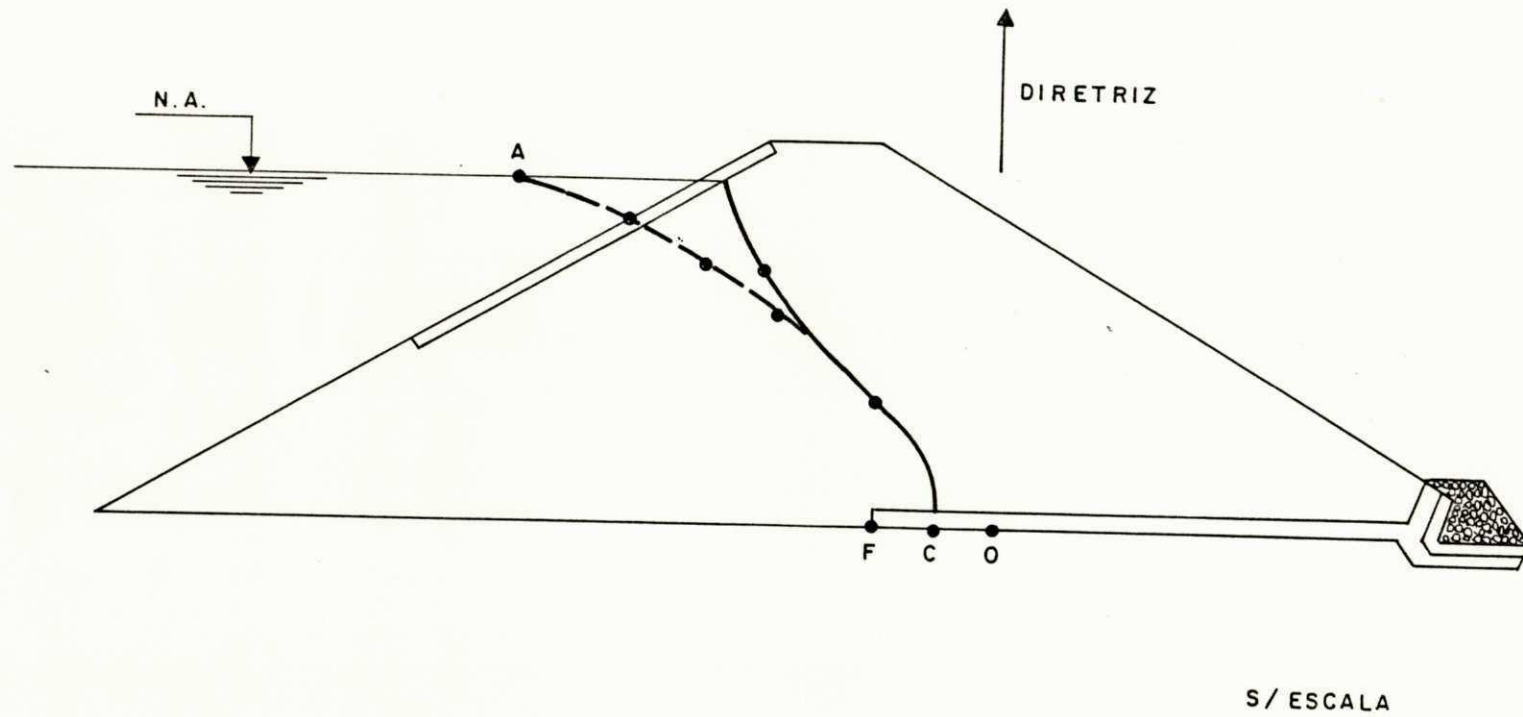


FIGURA 1 - SEÇÃO TRANSFORMADA

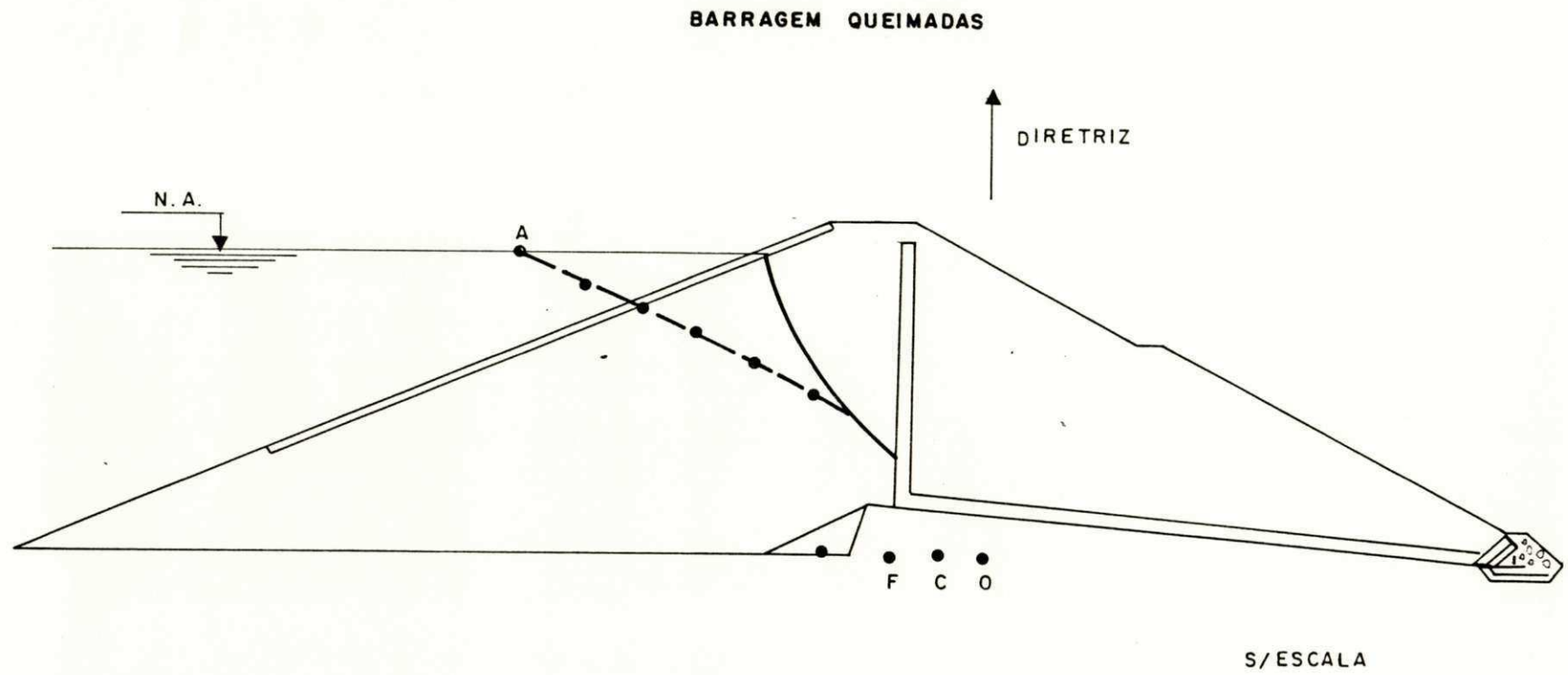


FIGURA 2 — SEÇÃO TRANSFORMADA

BARRAGEM ALBINO

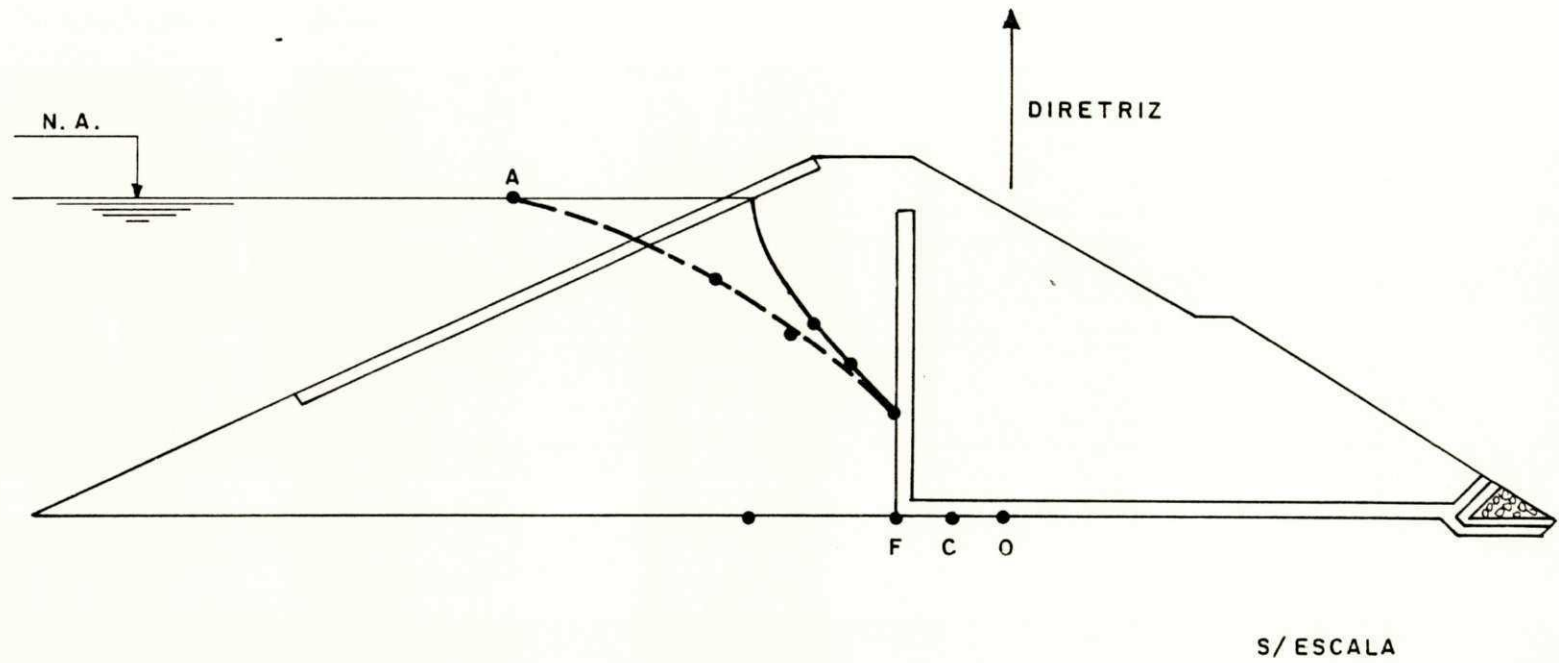


FIGURA 3 : SEÇÃO TRANSFORMADA

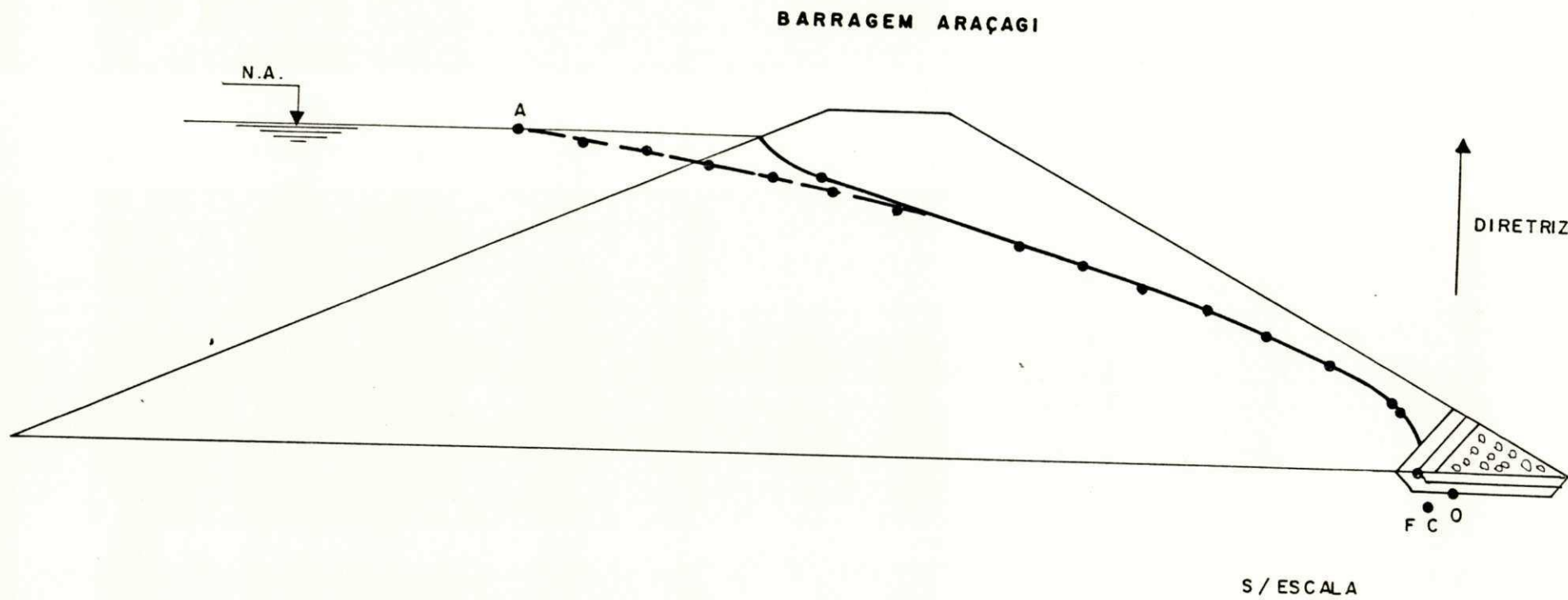


FIGURA 4 — SEÇÃO TRANSFORMADA

BARRAGEM SERRA REDONDA

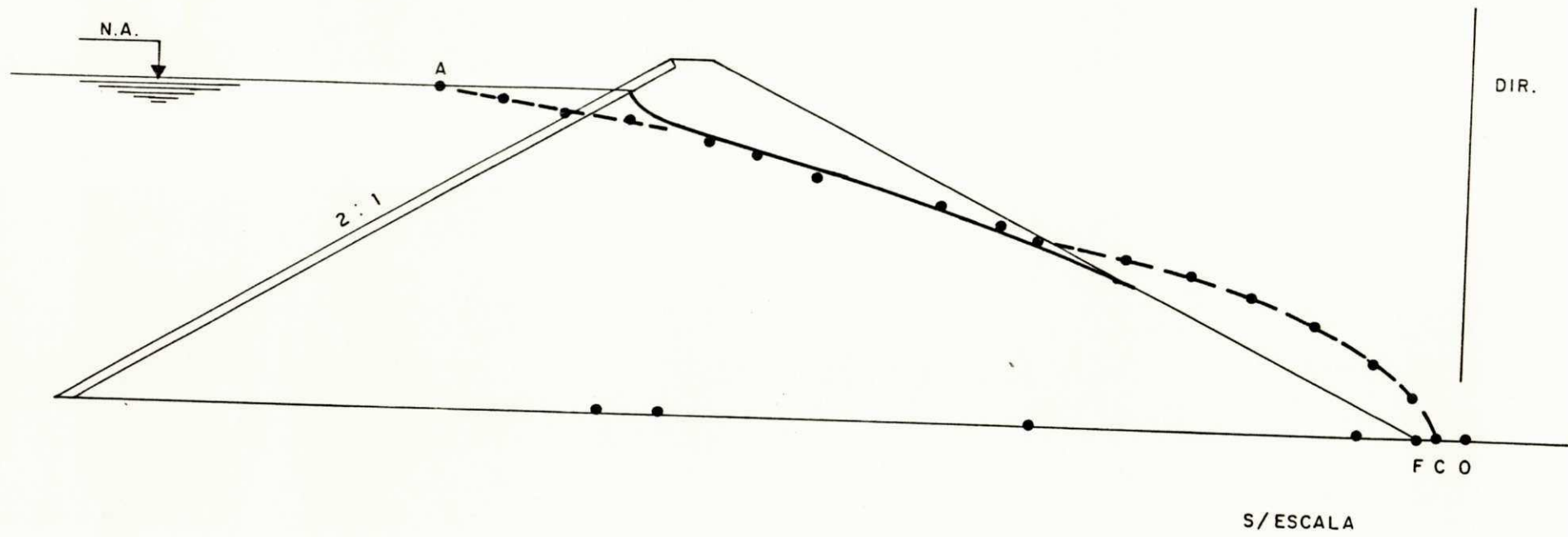


FIGURA 5 : SEÇÃO TRANSFORMADA

A N E X O 3

SONDAGENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDAGEM Nº 01														
BARRAGEM: SÃO JOSÉ			AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"														
MUNICÍPIO: SÃO JOSÉ DE PIRANHAS - PB.			REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm														
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO											CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100				
2,45		31															Argila arenosa, c/pedregulhos, consistência muito rija, de cor amarelada.
		10															Argila arenosa c/pedregulhos, consistência mole a média, de cor escura.
		6															
		4															
		6															
		7															
9,60		3															Argila arenosa, consistência mole a média, de cor avermelhada.
		5															
		8															
		3															
12,50		4															Areia média e grossa, c/pedregulhos, compactação fofa, de cor escura.
		3															
		2															
15,90		2															Impenetrável ao trépano.
INÍCIO		NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS 6,0 m.				ESCALA ———											
TÉRMINO						DATA: ,											
OBS. Localização: No coroamento da barragem (seção máxima)																	

Nível do reservatório : cota da soleira.

SONDAGENS À PERCUSSÃO		FURO DE SONDAÇÃO Nº 01				
BARRAGEM: SERRA VERMELHA I		AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"				
MUNICÍPIO: CONCEIÇÃO - PB.		REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm				
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL		
			0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100			
5,80		13		Rocha decomposta,		
		10				
10,00		10			Areia média e grossa com pedregulhos, pouco argilosa, medianamente compacta.	
		12				
		15				
		12				
19,60 21,20		14				Argila siltosa, com pedregulhos, de consistência rija.
		14				
		13				
		11				
		17				
		17				
		13				
		12				
13		Areia média e grossa, pouco compacta.				
12						
12		Impenetrável ao trépano				
10						
9						
7						

INÍCIO	NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS 16,80 m.	ESCALA ———
TÉRMINO		DATA:

obs. Localização: No coroamento da barragem (seção máxima)

Nível do reservatório : cota da soleira

SONDACENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDAÇÃO Nº 01													
BARRAGEM: FRUITOSO II			AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"													
MUNICÍPIO: AGUIAR - PB.			REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura da Queda: 75 cm													
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO											CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL		
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			
1,00	[diagonal lines]	45														Areia média e grossa,
	[diagonal lines]	28														Areia siltosa, c/pedregulhos
	[diagonal lines]	12														
	[diagonal lines]	13														
	[diagonal lines]	10														
	[diagonal lines]	13														
	[diagonal lines]	15														
8,45	[diagonal lines]	13														
	[diagonal lines]	13														
	[diagonal lines]	10														Argila siltosa, c/pedregulhos, de consistência rija.
	[diagonal lines]	5														
	[diagonal lines]	18														
	[diagonal lines]	18														
14,00	[diagonal lines]	13														
	[diagonal lines]	15														Areia média e grossa, c/pedregulhos, compacta.
	[diagonal lines]	15														
	[diagonal lines]	15														
17,45	[diagonal lines]	31														Impenetrável ao trépano.
INÍCIO		NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS				9,20		ESCALA				_____				
TÉRMINO								DATA:								
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)																

Nível do reservatório: cota da soleira

SONDAGENS À PERCUSSÃO		FURO DE SONDAGEM Nº 01		
DARRAGEM: BOM JESUS :		AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"		
MUNICÍPIO: ÁGUA BRANCA - PB.		REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm		
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	
1,20		3		Rocha decomposta
		5		Argila silteosa, c/pedregulhos, consistência rija a muito rija, de cor avermelhada.
		6		
		18		
		21		
		21		
		13		
		9		
		12		
		16		
14				
16,00		10	Pedregulhos	
		20		
18,30		14		
		16		
		27		
		10		
		12		
		23		
INÍCIO	NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS		11,80 m.	ESCALA ———
TÉRMINO				DATA :
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)				

Nível do reservatório: cota da soleira

SONDAGENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDAÇÃO Nº 01													
BARRAGEM: ALBINO			AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8" REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2"													
MUNICÍPIO: IMACULADA - PB.			Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm													
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO										CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90		100		
		12														Argila siltosa, com pedregulhos, consistência rija a muito rija, de cor avermelhada.
		18														
		9														Idem de consistência média.
		22														
		22														Idem de consistência rija.
		10														
		7														
		7														
		6														
		11														
	18														Impenetrável ao trépano.	
	13															
	10															
	15															
14,60		25														
INÍCIO	NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS		6,40 m.										ESCALA			
TÉRMINO													DATA:			
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)																

Nível do reservatório: cota da soleira.


SONDAGENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDAGEM Nº 01	
BARRAGEM: POCINIÓS			AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"	
MUNICÍPIO: MONTEIRO - PB.			REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Quedo: 75 cm	
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm F/VAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
		12		Rocha decomposta,
2,00		8		
3,00		20		Argila siltosa, com pedregulhos, de consistência rija.
		14		Decomposição de rocha e pedregulhos,
4,90		33		
		10		Argila siltosa, com pedregulhos, rija, à muito rija.
		14		
		20		
		6		Idem de consistência média.
9,90		10		
		10		Areia com pedregulhos, pouco compacta.
		9		
		8		
13,10				Impenetrável a percussão.
INÍCIO		NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS 8,80 m.		ESCALA ———
TÉRMINO				DATA: ,
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)				
Nível do reservatório: cota da soleira.				

SONDAGENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDADEIM Nº 01															
BARRAGEM: SANTO ANTONIO			AMSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/4"															
MUNICÍPIO: S. SEBASTIÃO DO UMBUEIRO - PR.			REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm															
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO												CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110		120		
		18																Argila arenosa, com pedregulhos, consistência rija, de cor clara.
2,30		12																Decomposição de rocha,
		16																
3,70		12																Argila siltosa, com pedregulhos, muito rija.
		18																
		23																
6,30		17																Decomposição de rocha,
		11																
8,50		16																Areia com pedregulhos, de compactidade compacta.
		23																
9,80		25																Argila siltosa, com pedregulhos.
		30																
11,60																		Impenetrável ao trépano.
INÍCIO		NÍVEL D'AGUA APÓS 24 HORAS 6,30 m.										ESCALA						
TÉRMINO												DATA:						
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)																		

Nível do reservatório: cota da soleira.

SONDAGENS À PERCUSSÃO				FURO DE SONDAGEM Nº 01												
BARRAGEM: CORDEIRO				AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"												
MUNICÍPIO: CONCO - PB.				REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm												
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO										CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
			0	10	20	30	40	50	60	70	80	90		100		
		10														Argila siltosa com pedregulhos, consistência rija a muito rija, de cor escura.
		8														
		9														
		22														
		16														
		11														
		12														
		13														
		15														
		10														
		11														
		12														
		16														Areia com pedregulhos, compacta.
		15														
		14														
12,30		13														Pedregulhos.
INÍCIO	NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS		7,50 m.										ESCALA	———		
TÉRMINO											DATA:					
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)																

Nível do reservatório: cota da soleira.

SONDAGENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDAGEM Nº 01		
BARRAGEM: CRAIBEIRAS			AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"		
MUNICÍPIO: PICUI - PB.			REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm		
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	0 10 20 30 40 50	
7,45		13	10	10	Solo proveniente da alteração de rocha de mica-xistos com pedregulhos, consistência rija, de cor clara.
		18	15	15	
		11	15	15	Rocha alterada, impenetrável à percussão.
		21	20	20	
		21	25	25	
		30	35	35	
		41	45	45	
INÍCIO		NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS 3,00 m.		ESCALA ———	
TÉRMINO				DATA:	
obs. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)					

Nível do reservatório: cota da soleira.

SONDAGENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDAGEM Nº 01		
BARRAGEM: POLEIROS			AMOSTRADOR: Ømetro Externo 2" Ømetro Interno 1 3/8"		
MUNICÍPIO: BARRA DE SANTA ROSA - PB.			REVESTIMENTO: Ømetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm		
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	10 20 30 40 50	
		24			Argila arenosa e pedregulhosa, consistência muito rija, de cor amarelada.
		33			
3,40		30			
		25			Argila arenosa e pedregulhosa, consistência rija, de cor escura.
		21			
6,20		18			
		11			Argila siltosa, com pedregulhos, consistência rija, de cor clara.
		15			
8,40		35			Areia média, de compactidade compacta.
		21			
10,15		24			Argila com pedregulhos, muito rija.
		32			
12,00		35			Areia média com pedregulhos, de compactidade compacta.
		31			
14,40		32			Argila com pedregulhos, rija.
15,20		21			Areia média e pedregulhos, medianamente compacta.
		18			
18,20		16			Impenetrável ao trepano.
INÍCIO		NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS 10,00 m.		ESCALA ———	
TÉRMINO				DATA: ,	
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)					

Nível do reservatório: cota da soleira.

SONDAGENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDAGEM Nº 01		
BARRAGEM: ARAÇAGI			AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"		
MUNICÍPIO: ESPERANÇA - PB.			REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm		
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	0 10 20 30 40 50	
		25 22 13 15 17 21 13 10 13 26			Argila siltosa, com pedregulhos, consistência rija.
10,10 10,30 10,70					Idem muito rija.
					Areia.
					Rocha decomposta.
					Impenetrável ao trépano.
INÍCIO	NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS 4,00 m.		ESCALA		
TÉRMINO			DATA:		
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)					

Nível do reservatório: cota da soleira.

13721500

SONDAGENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDAGEM Nº 01		
BARRAGEM: RIACHO DO EMÍDIO			AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"		
MUNICÍPIO: MONTADAS - PB.			REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura de Queda: 75 cm		
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm ENFAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	0 10 20 30 40 50	
2,50		30			Argila pedregulhosa, consistência muito rija, de cor avermelhada.
6,20		16			Argila pedregulhosa, consistência rija, de cor escura.
10,40		15			Argila arenosa e pedregulhosa, consistência rija, de cor escura.
		11			Idem de consistência média.
		8			Areia do filtro.
INÍCIO		NÍVEL D'AGUA APÓS 24 HORAS 9,10 m.		ESCALA ———	
TÉRMINO				DATA: ,	
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)					

Nível do reservatório: cota da soleira.

SONDAGENS À PERCUSSÃO		FURO DE SONDAGEM Nº 01		
BARRAGEM: MASSARANDUBA (EIXO DA BARRAGEM-TOPO)		AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"		
MUNICÍPIO: MASSARANDUBA - PB.		REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura da Queda: 75 cm		
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	
2,00		14		Argila arenosa, consistência rija, de cor avermelhada.
		12		Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija a muito rija, de cor avermelhada.
13	Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor avermelhada.			
13	Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor avermelhada.			
19	Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor avermelhada.			
12	Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor avermelhada.			
6,10		15		Rocha decomposta.
6,40		Argila arenosa, com pedregulhos, consistência rija, de cor avermelhada.		
11,00		9		Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor escura.
		10		Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor escura.
		11		Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor escura.
		9		Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor escura.
		10		Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor escura.
16,20		27		Argila arenosa com pedregulhos, consistência rija, de cor escura.
		28	Rocha decomposta,	
INÍCIO		NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS 10,40 m.		ESCALA
TÉRMINO				DATA:
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)				

Nível do reservatório: cota da soleira.

SONDAGENS À PERCUSSÃO			FURO DE SONDAGEM Nº 01		
BARRAGEM: SERRA REDONDA			AMOSTRADOR: Diâmetro Externo 2" Diâmetro Interno 1 3/8"		
MUNICÍPIO: SERRA REDONDA - PB.			REVESTIMENTO: Diâmetro Interno 2 1/2" Peso do Martelo: 65 Kg Altura do Quedo: 75 cm		
PROFUNDIDADE	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO P/30cm FINAIS	GRÁFICO DE RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100	0 10 20 30 40 50	
7,10		7			Decomposição de rocha. Idem de consistência média.
		8			
		9			
		11			
		10			
		6			
		6			
		6			
		6			
		7			
		4			
15,45		6			Argila arenosa, consistência mole a média, de cor escura.
		6			
		6			
		7			
		4			Areia média e grossa, com pedregulhos pouco compacta.
		5			
		11			
		6			
		8			
INÍCIO	NÍVEL D'ÁGUA APÓS 24 HORAS 4,40 m.		ESCALA ———		
TÉRMINO			DATA: ,		
OBS. Localização: No coroamento da barragem - (seção máxima)					

Nível do reservatório: cota da solcira.

A N E X O 4

Cálculo de Estabilidade de taludes
pelo método das Fatias
Bishop Simplificado

Através de um programa de computador

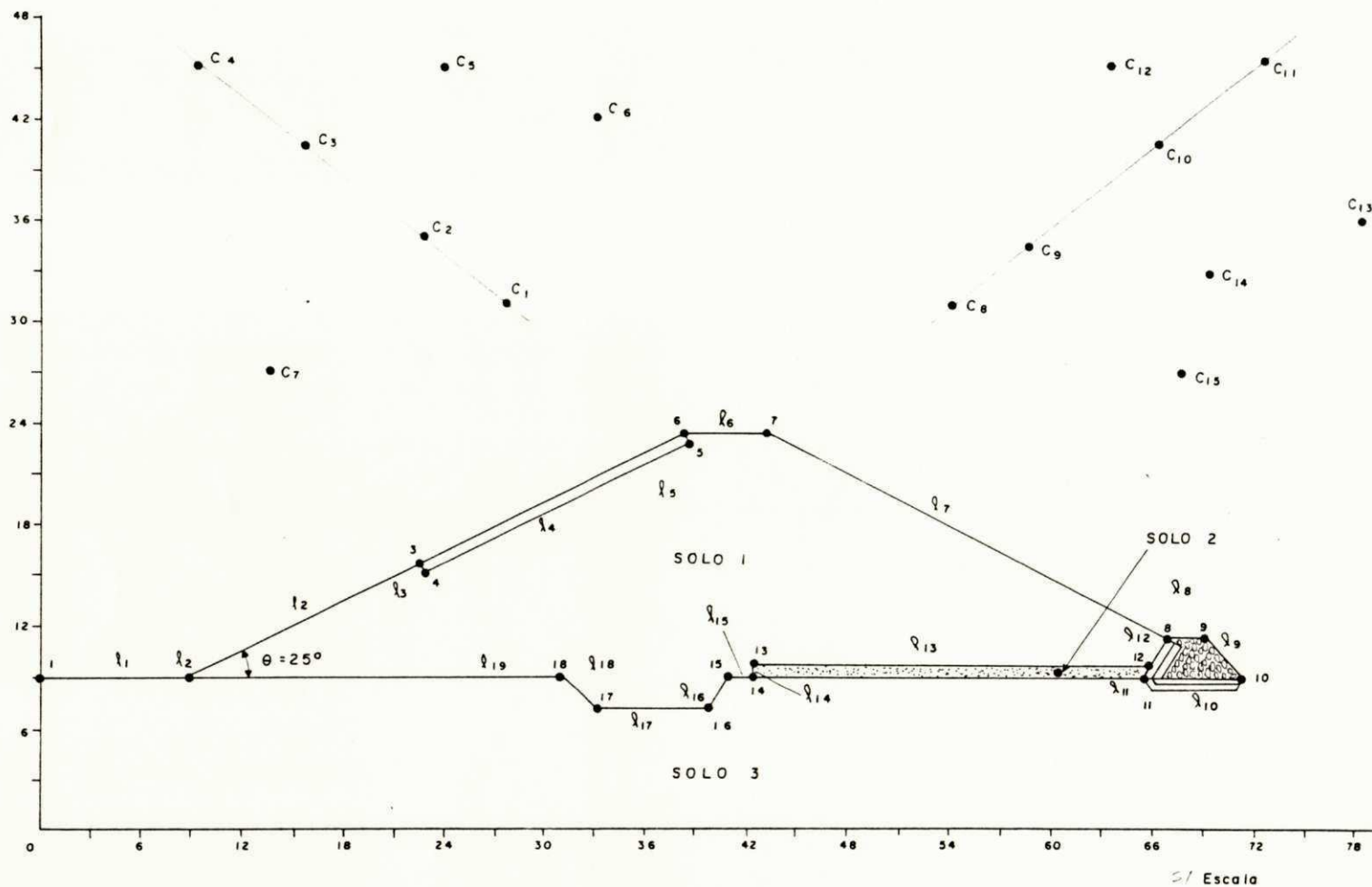


FIGURA I — MOSTRA O PERFIL DA BARRAGEM SÃO JOSÉ COM OS CENTROS GEOMÉTRICOS ENCONTRADOS PELO MÉTODO JUMIKIS (1967)

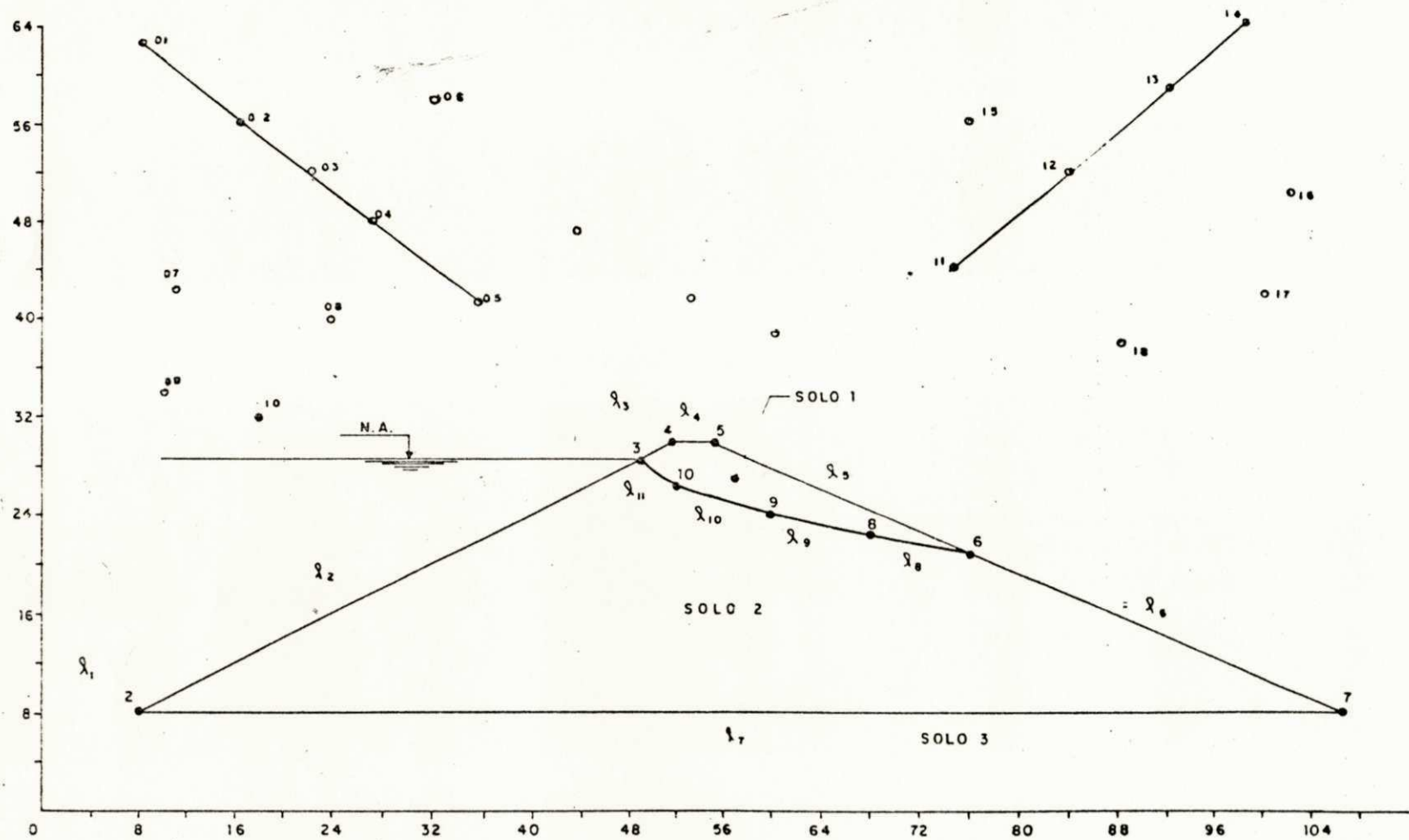


FIGURA 2 - MOSTRA UM EXEMPLO DE ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES DAS BARRAGENS DE TERRA PARA PERÍODO DE RESERVATÓRIO CHEIO (BARRAGEM SERRA REDONDA, MUNICÍPIO DE SERRA REDONDA - PB)

BARRAGEM : São José

Município de São José de Piranhas

- Massa Específica da água : 1 kg/cm³

- Talude submerso em : 0

- Fator de Terremoto : 0

- Coordenada X : de 0 a 87

Período : Final de construção.

TABELA 1, No. de Pontos: 18.

Ponto	Ord. X	Ord. Y
01	0,00	9,08
02	9,00	9,07
03	22,50	15,90
04	22,80	15,00
05	35,40	22,80
06	35,10	23,50
07	43,10	23,40
08	66,90	11,50
09	89,00	11,40
10	71,40	9,02
11	65,40	9,03
12	65,70	9,60
13	42,30	9,70
14	42,20	9,04
15	40,50	9,05
16	40,00	7,20
17	33,00	7,25
18	31,00	9,06

TABELA 2, No. de Linhas: 19.

Linha	ponto		No. do solo abaixo
	esq	dir	
01	1	2	3
02	2	3	1
03	3	4	1
04	4	5	1
05	6	5	1
06	6	7	1
07	7	8	1
08	8	9	2
09	9	10	2
10	11	10	3
11	11	12	2
12	12	8	2
13	13	12	2
14	14	13	2
15	15	14	3
16	16	15	3
17	17	16	3
18	18	17	3
19	2	18	3

TABELA 3

Parâmetros dos solos, dados conforme projeto original.

SOLO	M. Esp. Aparente	Coesão	Ang. Atr. Int.	Saturado
	g s (kg/cm ³)	C (kPa)	Ø (graus)	
Ø1	1,802	45	24	Não
Ø2	1,900	Ø	30	Não
Ø3	1,900	20	20	Não

TABELA 4

Parâmetros dos solos conforme resultados da presente pesquisa.

Solo	M. Esp. Aparente	Coesão	Ang. Atr.Int.	Saturado
	g s (kg/cm ³)	C (kPa)	Ø (graus)	
Ø1	1,795	40	24	Não
Ø2	1,900	Ø	30	Não
Ø3	1,900	20	20	Não

TABELA 5

Análise da estabilidade do talude à montante.

Circulo	X	Y	Raio (m)	Coef. de Segurança (F)	
				Projeto	Pesquisa
Ø1	27,2	31,2	21,0	3,29	3,12
Ø2	22,5	35,0	25,5	2,81	2,65
Ø3	15,6	40,5	31,5	2,58 x	2,43 x
Ø4	8,4	46,0	37,0	3,76	3,48
Ø5	24,0	45,0	34,5	3,26	3,09
Ø6	33,0	42,0	32,0	6,21	5,93
Ø7	13,5	27,0	17,0	4,85	4,45

Cêntro do círculo crítico.

$$x = 15,6 \quad y = 40,5 \quad R = 31,5$$

$$(F) \text{ do projeto} = 2,58 \quad (F) \text{ da pesquisa} = 2,43$$

TABELA 6

Análise da estabilidade do talude à jusante.

Circulo	X	Y	Raio (m)	Coef. de Segurança (F)	
				Projeto	Pesquisa
08	54,0	31,0	20,0	3,62	3,44
09	58,5	34,5	24,0	3,34	3,17
10	65,0	40,3	31,0	2,88 x	2,75 x
11	72,3	46,0	36,0	4,32	4,01
12	63,0	45,0	35,0	3,12	2,96
13	78,0	36,0	28,0	5,70	5,25
14	69,0	33,0	23,0	4,31	4,01
15	67,5	27,0	17,0	4,46	4,16

Cêntro do círculo crítico.

$$x = 65,0$$

$$y = 40,3$$

$$R = 31,0 \text{ m}$$

$$F.pr = 2,88$$

$$F.pe = 2,75$$

F.pr = Coef. de segurança, conforme projetos originais.

F.pe = Coef. de segurança, conforme a presente pesquisa.

BARRAGEM : Serra Redonda, município de Serra Redonda-Pb.

massa específica da água = 1 kg/cm³
 talude submerso em = 29
 coordenada de x = de 0 a 107

Fase de reservatório Cheio.

TABELA 7

Ponto	Ord. X	Ord. Y
01	0,00	8,05
02	8,00	8,03
03	49,00	28,50
04	51,00	30,06
05	55,00	30,00
06	76,00	21,00
07	106,50	8,01
08	68,00	22,50
09	60,00	24,00
10	52,00	26,50

TABELA 8

Linha	ponto		No. do solo abaixo
	esq	dir	
01	1	2	3
02	2	3	2
03	3	4	1
04	4	5	1
05	5	6	1
06	6	7	2
07	2	7	3
08	8	6	2
09	9	8	2
10	10	9	2
11	3	10	2

TABELA 9

Parâmetros dos solos,

SOLO	M. Esp. Aparente g s (kg/cm ³)	Coesão C' (kPa)	Ang. Atr. Int. θ' (graus)	Saturado
Ø1	1,765	12	28,5	Não
Ø2	1,934	12	40	Sim
Ø3	1,900	20	25	Sim

Montante.

Ponto	X	Y	Raio (m)	F
	16	56	48	1,95

Jusante.

Ponto	X	Y	Raio (m)	F
	84	52	43	1,28

A N E X O 5

Cálculo Manual da Estabilidade
de Taludes, pelo Método das
Fatias. Bishop Simplificado.

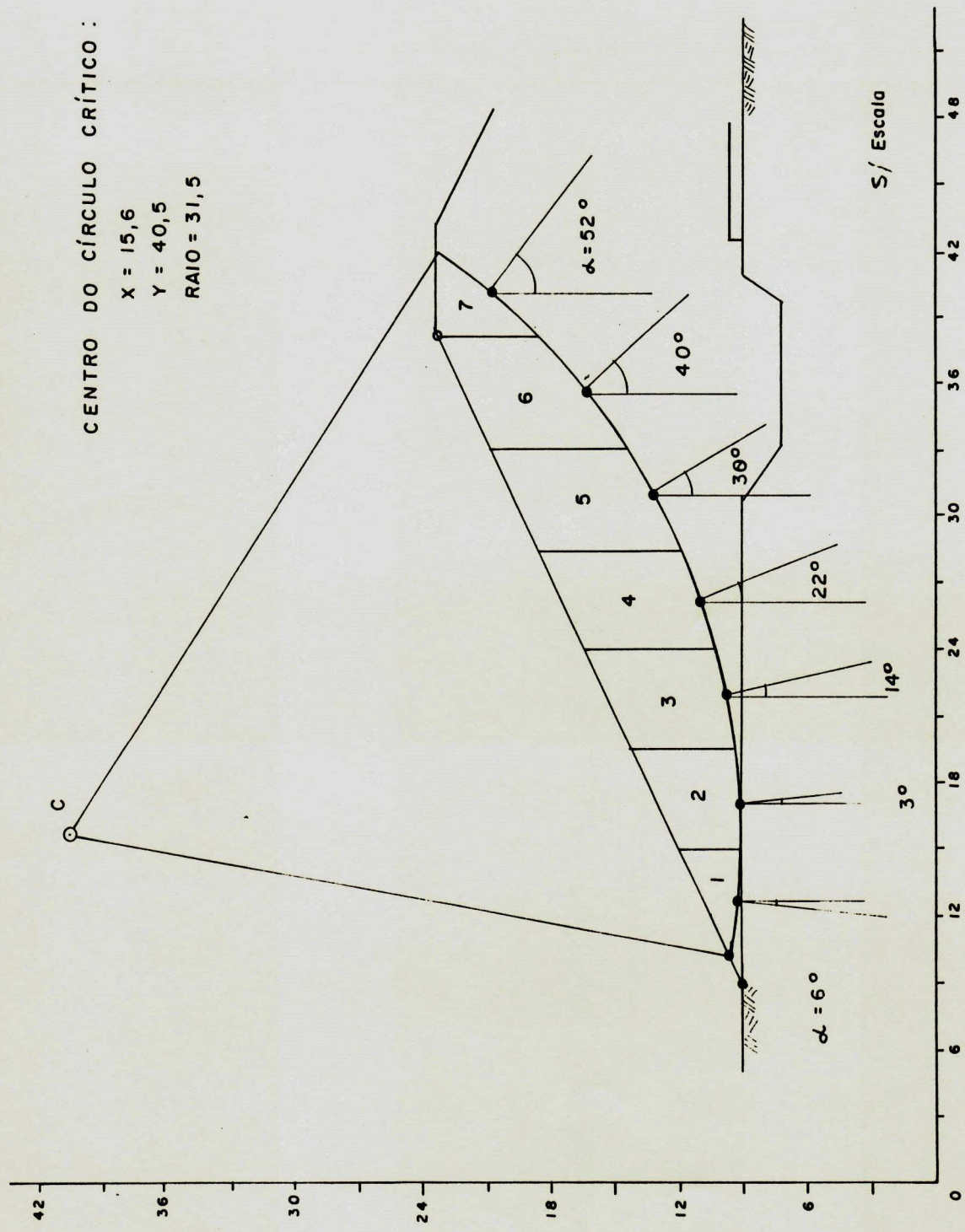


FIGURA I -- MOSTRA A DIVISÃO DA SUPERFÍCIE DE RUPTURA EM FATIAS CONFORME MÉTODO DE BISHOP

Tabela 1 - mostra o cálculo manual do coeficiente de segurança F, pelo método Bishop simplificado.
Barragem São José, talude à montante.

g s = 1,795 kg/cm³ c = 40 kPa $\theta = 24$ graus $\bar{B} = 0.1$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F			A						
A									
T	b	h	b.h	W	α	sen α	tg α	sec α	w.sen α
I									
A	(m)	(m)	(m ²)						
1	4,8	1,5	7,20	12,92	-6	-0,105	-0,105	1,00	- 1,35
2	4,5	3,6	16,20	29,08	1	0,017	0,017	1,00	0,50
3	4,5	5,4	24,30	43,62	14	0,242	0,250	1,03	10,55
4	4,5	6,6	28,35	50,89	22	0,374	0,404	1,08	19,03
5	4,5	6,3	28,35	50,89	30	0,5	0,577	1,15	25,44
6	5,1	5,7	29,07	52,18	40	0,642	0,839	1,307	33,50
7	3,6	2,4	8,64	15,50	52	0,788	1,280	1,624	12,22
									99,89

	10	11	12	13		14	
F				sec α			
A				-----			
T	c.b	W(1-B)tg θ	10+11	tg θ x tg α		12 x 13	
I				1 + -----			
A				F			
				F = 2,35	F = 2,41	F = 2,35	F = 2,41
1	19,2	5,17	24,37	1,02	1,02	24,86	24,85
2	18,0	11,63	29,63	1,00	1,00	29,63	29,66
3	18,0	17,44	35,44	0,98	0,98	34,73	34,73
4	18,0	20,35	38,35	1,00	1,00	38,35	38,35
5	18,0	20,35	38,35	1,04	1,039	39,88	39,84
6	20,4	20,87	41,27	1,128	1,130	46,55	46,88
7	14,4	6,20	20,60	1,307	1,312	26,92	27,04
						240,92	241,15

F = 2,41

Tabela 2 mostra o cálculo manual da estabilidade do talude à montante da barragem S. José

Para $\bar{B} = 0.2$

	11	12	13		14	
F A T I A	$W(1-\bar{B})\text{tg}\theta$	$10+11$	$\frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\text{tg } \theta \times \text{tg } \alpha}{F}}$		12×13	
			F = 2,2	F = 2,3	F = 2,2	F = 2,3
1	4,6	23,8	1,02	1,02	24,28	24,28
2	10,35	28,35	1,00	1,00	28,35	28,35
3	15,53	33,53	0,98	0,98	32,86	32,86
4	18,12	36,12	1,00	1,00	36,12	36,12
5	18,12	36,12	1,03	1,034	37,20	37,36
6	18,58	38,98	1,12	1,124	43,65	43,81
7	5,52	19,92	1,29	1,3	25,69	25,91
					228,15	228,69
					F = 2,28	F = 2,29

Tabela 3 - mostra o cálculo da estabilidade do talude à montante da barragem São José.

Para $\bar{B} = 0.3$

	11	12	13		14	
F A T I A			$1 + \frac{\sec \alpha \cdot \text{tg } \theta \times \text{tg } \alpha}{F}$		12 x 13	
	$W(1-\bar{B})\text{tg}\theta$	10+11	F = 2,0	F = 2,15	F = 2,0	F = 2,15
1	4,03	23,23	1,024	1,022	23,79	23,74
2	9,07	27,07	1,00	1,00	27,07	27,07
3	13,61	31,61	0,976	0,979	30,85	30,95
4	15,88	33,88	0,99	0,997	33,54	33,78
5	15,88	33,88	1,019	1,027	34,52	34,79
6	16,28	36,68	1,1	1,114	40,35	40,86
7	4,84	19,24	1,26	1,284	24,24	24,70
					214,36	215,89

F = 2,15 F = 2,16

Tabela 4 - mostra o cálculo da estabilidade do talude à montante, da barragem São José.

Para $\bar{B} = 0.4$

F A T I A	11	12	13		14	
	$W(1-\bar{B})\text{tg}\theta$	10+11	sec α		12 x 13	
			$1 + \frac{\text{tg } \theta \times \text{tg } \alpha}{F}$			
			F = 2,0	F = 2,03	F = 2,0	F = 2,03
1	3,45	22,65	1,022	1,024	23,15	23,19
2	7,76	25,76	1,00	0,996	25,76	25,66
3	11,65	29,65	0,976	0,977	28,94	28,97
4	13,59	31,59	0,99	0,99	31,27	31,27
5	13,59	31,59	1,019	1,021	32,19	32,25
6	13,93	34,33	1,1	1,104	37,76	37,90
7	4,14	18,54	1,26	1,268	23,36	23,51
					202,43	202,75

F = 2,03

F = 2,03